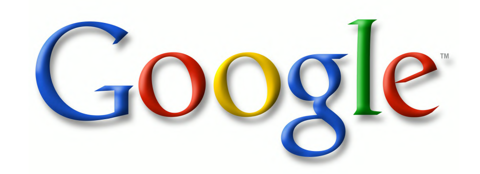
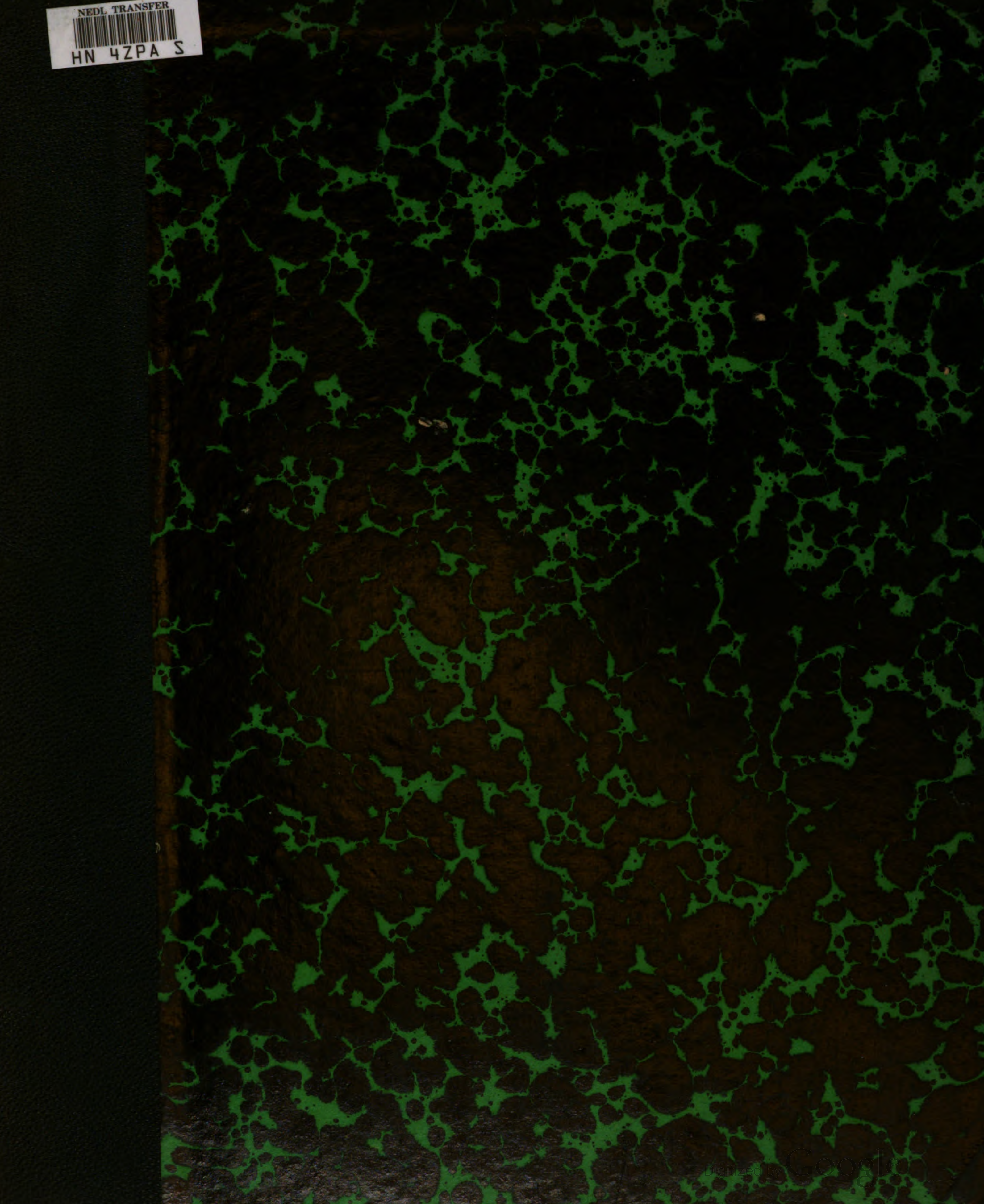
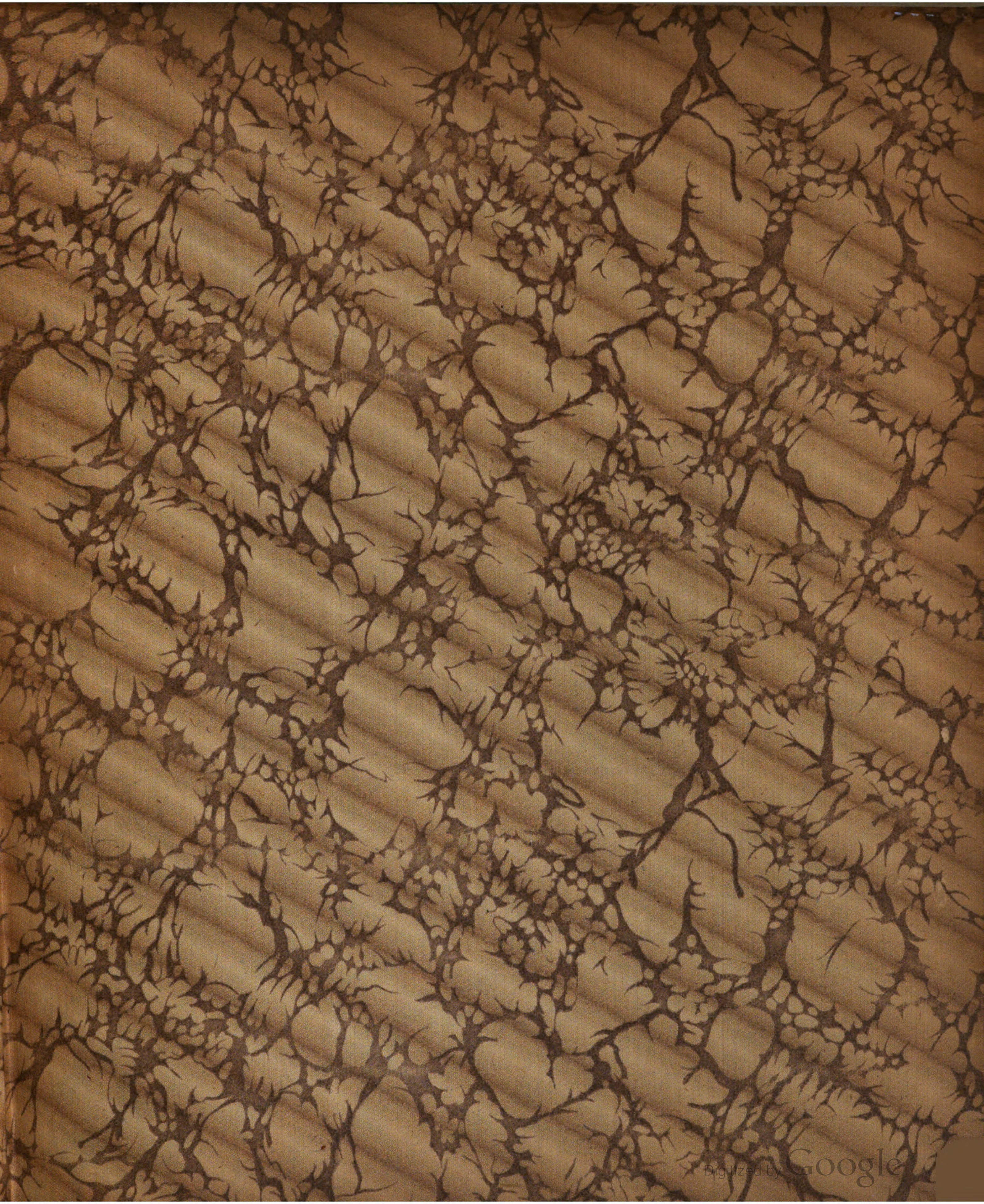



NEDL TRANSFER
HN 4ZPA Z





ANNALES

DE L'OBSERVATOIRE MÉTÉOROLOGIQUE

PHYSIQUE ET GLACIAIRE

DU MONT BLANC

0

ANNALES

DE

L'OBSERVATOIRE MÉTÉOROLOGIQUE

PHYSIQUE ET GLACIAIRE

DU MONT BLANC

(Altitude 4.350 mètres)

PUBLIÉES SOUS LA DIRECTION DE

J. VALLOT

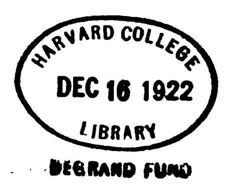
FONDATEUR ET DIRECTEUR DE L'OBSERVATOIRE

Lauréat de l'Académie des Sciences
Vice-président du Club Alpin Français et de la Commission Française des Glaciers
Membre d'honneur des Clubs Alpins Suisse et Italien
de l'Appalachian Club, etc.

TOME VI

PARIS
G. STEINHEIL, ÉDITEUR
2, RUE CASIMIR-DELAVIGNE, 2

1905


HARVARD COLLEGE
DEC 16 1922
LIBRARY

PRÉFACE

Depuis la publication du tome V, en 1900, la publication des *Annales* a subi un temps d'arrêt de quatre années. Une grave maladie rhumatismale, contractée au cours de mes longs séjours au Mont Blanc, m'a mis pendant trois ans non seulement dans l'impossibilité de continuer mes ascensions à l'Observatoire, mais même de poursuivre la rédaction de mes observations. Mon état s'étant enfin amélioré à force de soins et de patience, j'ai pu mettre sur pied, en 1904, le présent volume. Il serait déjà distribué depuis plusieurs mois, si d'autres tribulations ne m'avaient assailli : une fièvre typhoïde, qui a failli m'emporter, est venue interrompre l'impression de l'ouvrage, et ce n'est qu'au bout de plusieurs mois que j'ai pu la reprendre. Cette dernière maladie a eu, du reste, un résultat heureux, car j'en suis sorti à peu près guéri de la première. Actuellement, j'ai retrouvé l'usage de mes jambes, mais cependant mes forces ne sont pas encore suffisamment revenues pour me permettre de remonter au Mont Blanc.

Par suite de ces circonstances, les travaux de l'Observatoire se sont trouvés ralentis, mais ils ne se sont pas arrêtés, grâce à l'activité de mes collaborateurs. En 1903 et en 1904, M. le docteur Kuss a fait de longs séjours à l'Observatoire, accompagné de nombreux sujets sur lesquels il a fait des expériences, dans le but de rechercher si les échanges respiratoires sont modifiés par un séjour prolongé à une grande altitude. L'Observatoire est assez confortablement organisé aujourd'hui pour que le docteur Kuss ait pu y installer les appareils de mesure les plus perfectionnés et y exé-

cuter les analyses de gaz les plus délicates. Les résultats de ces deux remarquables expéditions feront l'objet d'un mémoire détaillé dans le tome VII des *Annales*; on peut, dès à présent, en trouver un résumé dans les *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences* (1).

Pour les opérations de la carte du Mont Blanc, obligé de me confiner dans les travaux de laboratoire et ne pouvant plus aller sur le terrain, j'ai pu être suppléé par MM. Jean et Louis Lecarme, qui ont mené les levers photographiques avec une grande activité pendant les trois dernières saisons. M. Henri Vallot a continué les levers de détail à la planchette et a assumé, en outre, la lourde tâche de la restitution topographique des photographies, que le mauvais état de mes yeux m'a aussi obligé d'interrompre.

Depuis quelques années, le Service des Eaux et Forêts a entrepris des travaux au glacier de Tête Rousse, au pied de l'aiguille du Goûter, à plus de 3.000 mètres d'altitude, dans le but de préserver les bains de Saint-Gervais d'une catastrophe analogue à celle qui les a détruits il y a quelques années. Sur mon conseil, des travaux météorologiques et glaciaires ont été institués sur ce glacier et sont poursuivis avec le plus grand zèle par MM. Mougin et Bernard, inspecteurs des forêts. On trouvera dans ce volume et dans les suivants la relation de ces travaux du plus grand intérêt. La station météorologique que j'avais installée aux Grands Mulets se trouvant inutilisée depuis ma maladie, je l'ai mise à la disposition de MM. Mougin et Bernard, qui l'ont transportée à Tête Rousse pour compléter la leur ; on a donc maintenant, par les soins de ces messieurs, des séries météorologiques poursuivies régulièrement, pendant tout l'été, à près de 3.200 mètres d'altitude. La publication de ces séries m'a été confiée et commence dans le présent volume.

L'apparition du tome VII suivra de près celle du tome VI ; l'impression est déjà commencée. Ce volume comprendra le mémoire physiologique du docteur Kuss, dont j'ai parlé plus haut, un mémoire de M. Henri Vallot sur le degré de précision des cartes modernes du Mont Blanc, un autre sur l'ancien cadastre de la vallée de Chamonix, une note de MM. Lecarme sur leurs expériences au Mont Blanc, le résumé de mes recherches sur les

(1) G. Kuss, Les Combustions intra-organiques mesurées par les échanges respiratoires ne sont pas modifiées par un séjour prolongé à l'altitude de 4.350 mètres. (*Séance du 24 juillet 1905.*)

variations de l'oxyhémoglobine aux grandes altitudes, une étude sur le calcul des altitudes par le baromètre, etc.

Les *Annales* ne contiendront plus désormais la liste des ouvrages reçus, cette liste, dont l'établissement prenait beaucoup de temps, étant remplacée par des remerciements individuels envoyés à mes correspondants au fur et à mesure de la réception des ouvrages.

Le Directeur-Fondateur,

J. VALLOT.

EXPÉRIENCES

SUR LA

RESPIRATION AU MONT BLANC

DANS LES

CONDITIONS HABITUELLES DE LA VIE

Par M. J. **VALLOT**

Directeur de l'Observatoire du Mont Blanc.

EXPÉRIENCES PRÉLIMINAIRES

Capacité thoracique. — L'étude de la respiration m'a toujours paru l'une des plus importantes que puisse faire le physiologiste qui s'occupe du mal de montagne. Dès 1886, je m'en suis occupé, mais, comme tous ceux qui commencent à faire des études aux grandes altitudes, je me suis figuré tout d'abord qu'on pouvait faire des recherches au cours de brèves ascensions et en se servant d'instruments imparfaits dans lesquels l'exactitude est sacrifiée à la facilité du transport. Les résultats obtenus ont été encourageants, mais certaines inégalités ont montré qu'il était nécessaire, pour obtenir des conclusions rigoureuses, d'opérer dans des conditions moins livrées au hasard des ascensions et avec des instruments plus perfectionnés. C'est pour faire ressortir ces notions que je rapporterai les expériences faites en 1886 et 1887.

Les expériences de 1886 ont été faites à l'aide du spiromètre en caoutchouc de Verdin. Cet instrument se compose d'une vessie en caoutchouc, fixée dans un cadre métallique démontable. Pour mesurer la capacité thoracique, on remplit le poumon par une inspiration complète, puis on enfle la vessie de caoutchouc en soufflant dans le petit tuyau adducteur. En s'enflant, cette vessie pousse devant elle un index, sur lequel les capacités

ont été marquées expérimentalement. L'expiration complète donne la mesure de la capacité thoracique.

L'instrument avait l'avantage d'être extrêmement léger, ce qui me semblait, à cette époque, être la principale condition à remplir dans les recherches de cette nature ; mais il avait, à côté de cela, de très grands inconvénients. D'abord, une vessie qui pousse un index par un seul point de sa surface ne peut pas donner une grande exactitude ; ensuite, le caoutchouc que l'on distend ainsi est susceptible de changer d'élasticité à l'usage, surtout quand il est neuf et qu'il est porté à des altitudes où il peut se ressentir des effets de la gelée. Il y a des chances pour que sa capacité change et augmente sensiblement au cours d'une même campagne. Cette capacité, devant être mesurée sous pression, ne peut pas être vérifiée par le physiologiste voyageur. Ensuite, l'effort de l'expiration est de plus en plus grand à mesure que la vessie s'enfle, ce qui empêche la poitrine de se vider aussi complètement qu'à la pression ordinaire. Enfin, la capacité résiduelle du poumon, qui reste garni d'air même après l'expiration la plus complète, se trouve en communication avec l'air comprimé de la vessie, et renferme alors de l'air comprimé, dont une partie serait chassée dehors dans les conditions ordinaires. Il en résulte que ce spiromètre donne des résultats assez différents, selon que les muscles du sujet sont en état de résister à une pression plus ou moins forte, selon l'état de repos ou de fatigue, et que ces résultats sont toujours nécessairement au-dessous de la vérité, en ce qui concerne la capacité absolue.

Malgré ces inconvénients, les expériences de 1886 ont donné des résultats intéressants, que l'on trouvera consignés dans le tableau 1.

Ce tableau donne l'altitude des stations, la capacité pulmonaire et la différence entre cette capacité mesurée à Chamonix et à chaque station. On n'attachera pas d'importance à la capacité absolue, qui, comme je l'ai dit, est certainement trop faible, mais seulement aux différences trouvées entre les stations.

On remarquera d'abord que la capacité à Chamonix est passée de 2,2 lit. à 2,4 lit. J'attribue ce fait principalement à l'habitude prise graduellement par le sujet de contracter plus à fond ses muscles expirateurs. Pour la comparaison avec les autres stations, on a pris le chiffre obtenu à Chamonix à la date la plus rapprochée.

Les ascensions qui se font en quelques heures, à Planpraz (2.050 m.), Lognan (2.000 m.) et aux Grands Mulets (3.000 m.), n'ont révélé aucune différence avec Chamonix ; de même pour les Grands Mulets après une journée de séjour. Le Jardin (2.750 m.), qui se fait en deux jours, a donné

DATE ET HEURE	LOCALITÉ	Altitude en mètres	Capacité thoracique	Différence avec Chamonix	NOTES
			Sujet : M. J. Vallot.		
17 juil. 1886, 11 h. m.	Planpraz	2050	2,2	0	1 h. après l'ascension
20 — —	Chamonix	1050	2,2		Au repos
25 — — 2 h. s.	Jardin	2750	2,4	+0,2	6 h. après l'ascension
26 — — 11 h. 30 m.	Chamonix	1050	2,2		Au repos
4 août — 4 h. s.	Lognan	2000	2,3	0	1 h. après l'ascension
6 — — 9 h. 30 s.	Grands Mulets	3000	2,3	0	Après ascension et dîner
7 — — 4 h. s.	Mont Blanc	4800	1,7	—0,3	1 h. après ascension (comparer au suivant)
7 — — 1 h. m.	Chamonix	1050	2,0		30 minutes après retour du M. Blanc
8 — — 9 h. s.	—	1050	2,4		Au repos
11 — — après-midi	—	1050	2,4		Dans l'après-midi
12 — — 2 h. m.	Aig. du Goûter	3800	2,1	—0,3	30 min. après l'ascension
22 — — 10 h. m.	Grands Mulets	3000	2,4	0	Au repos (arrivé la veille)
23 — — 1 h. s.	Mont Blanc	4800	2,2	—0,2	2 h. après l'ascension
			Sujet : Alphonse Payot.		
30 août 1887, 4 h. s.	Chamonix	1050	{ 3,3 { 3,8		Au repos
23 — 1886, 1 h. s.	Mont Blanc	4800	2,8	—0,75	2 h. après l'ascension
			Sujet : Michel Savioz.		
30 août 1887, 4 h. s.	Chamonix	1050	4,2		Au repos
23 — 1886, 1 h. s.	Mont Blanc	4800	3,1	—1,1	2 h. après l'ascension

1. — Capacité thoracique en litres (Spiromètre en caoutchouc).

une différence inexpliquée de 0,2 lit. *en plus*. Quant aux ascensions à grande altitude, on a trouvé — 0,3 lit. pour le Mont Blanc (4.800 m.), — 0,3 lit. pour l'Aiguille du Goûter (3.800 m.) et — 0,2 lit. pour le Mont Blanc (4.800 m.).

L'ascension au Mont Blanc du 7 août offre un intérêt particulier. Le vent violent qui régnait sur les cimes nous ayant arrêtés aux Bosses du Dro-

madaire, malgré trois tentatives pour gravir les arêtes, nous dûmes redescendre au Grand Plateau et monter au sommet par le Corridor. Sur la calotte, le vent glacé nous coupait la respiration, nous nous sentions littéralement asphyxiés et ce n'est qu'au prix d'une fatigue extrême que nous pûmes gagner la cime. Cette fatigue se traduisit par des tracés respiratoires et dynamométriques très curieux que je n'ai jamais rencontrés depuis, et en même temps par une diminution excessive de la capacité respiratoire, qui descendit à 1,7 lit. Cette diminution se maintint dans une certaine mesure jusqu'à Chamonix, où la capacité respiratoire n'était plus que de 2,0 lit., tandis qu'elle retournait à 2,4 le lendemain matin, après le repos de la nuit ; cette observation montre que la fatigue extrême aux grandes altitudes peut diminuer la capacité respiratoire. Pour ce qui nous occupe ici, ce chiffre de 1,7 lit. au Mont Blanc doit évidemment être comparé au chiffre analogue de 2,0 lit. à Chamonix, et non à la capacité ordinaire.

On voit donc que les ascensions moyennes et rapides n'ont produit, en général, aucun changement dans la capacité, tandis que les grandes ascensions ont produit une diminution de — 0,2 lit. à — 0,3 lit.

Des expériences ont été faites aussi sur mes guides, Alphonse Payot et Michel Savioz. Malheureusement, l'expérience de Chamonix a été oubliée et n'a été faite que l'année suivante, ce qui est peut-être la cause des chiffres élevés de la diminution. Celle-ci s'est montrée de — 0,75 lit. pour l'un, et de — 1,1 pour l'autre. Ainsi, malgré l'imperfection des méthodes et des instruments, il a paru certain que les grandes altitudes causaient une diminution très marquée dans la capacité respiratoire.

De nouvelles expériences furent faites en 1887, durant le séjour que je fis au Mont Blanc sous la tente (tableau 2), mais, cette fois, je me servis d'un appareil plus précis, qui est le compteur sec. Cet appareil est un compteur à gaz sans liquide, dans lequel l'air passe à travers deux corps de pompe qui servent à le mesurer. L'appareil est très sensible et très doux quand il est neuf, mais plus tard, s'il reste longtemps sans servir, les pistons glissent mal et l'appareil devient dur et même impropre au service. Le froid interdisant l'emploi d'un liquide au sommet du Mont Blanc, il avait bien fallu prendre cet instrument. Je n'en ai pas opéré le tarage, et je ne donne ses indications que comme relatives. Le tableau 2 donne les expériences faites en 1887.

On constate déjà chez moi une diminution de — 0,2 lit. à Planpraz (2.050 m.) et de — 0,8 lit. au Mont Blanc, puis de — 0,5 lit. seulement deux jours plus tard. Chez Payot, la diminution est de — 0,5 lit. au Mont Blanc et elle se montre de — 0,4 lit. chez Michel.

DATE ET HEURE	LOCALITÉ	Altitude en mètres	Capacité thoracique	Différence avec Chamonix	NOTES
		Sujet : M. J. Vallot.			
14 juill. 1887, 9 h. 30 m.	Chamonix	1050	3,0	»	Préparatifs de départ
17 — — 2 h. s.	Planpraz	2050	2,8	— 0,2	2 h. après l'ascension
29 — — 8 h. s.	Mont Blanc	4800	2,2	— 0,8	Au repos. Monté la veille
31 — — 6 h. m.	—	4800	2,5	— 0,5	Au repos. Monté depuis 3 jours
		Sujet : Alphonse Payot.			
30 août 1887, 4 h. s.	Chamonix	1050	3,1 3,2 3,5	»	Au repos
29 juil. — 8 h. s.	Mont Blanc	4800	2,8	— 0,5	Au repos. Monté la veille
		Sujet : Michel Savioz.			
30 août 1887, 4 h. s.	Chamonix	1050	4,45 4,45	»	Au repos
29 juil. — 8 h. s.	Mont Blanc	4800	4,0	— 0,4	Au repos. Monté la veille
		Sujet : M. J. Vallot.			
1er juil. 1890.	Chamonix	1050	2,5		Le spiromètre est rouillé,
19 août —	Mont Blanc	4350	2,2	— 0,3	très dur et paraît fonctionner mal.

2. — Capacité thoracique en litres (Spiromètre compteur sec).

Enfin, en 1890, j'ai essayé de me resservir de cet appareil, mais il était devenu dur et obéissait mal, aussi je renonçai à l'employer après la première expérience. Cette expérience a donné à Chamonix 2,5 lit. et au Mont Blanc 2,2 lit., ce qui indique une diminution de — 0,3 lit. Ces chiffres sont trop bas comme capacité absolue, à cause du mauvais état du compteur.

Quoi qu'il en soit, et malgré l'imperfection des instruments et des méthodes, les résultats ont été assez concordants pour me permettre de publier (1),

(1) Trois jours au Mont Blanc. *Annuaire du Club alpin français*, t. XIV, 1887.



en 1887, cette conclusion, que l'ascension au Mont Blanc produit une diminution de la capacité thoracique.

Ventilation pulmonaire en marche et au Mont Blanc. — Mes premières expériences sur la ventilation pulmonaire ont été faites en 1887, à l'aide du compteur sec dont j'ai parlé. L'expérience se faisait très simplement, en aspirant l'air à travers le compteur, par un gros tuyau, et expirant à l'air libre; aucune valvule n'a été employée. Les inspirations se continuaient pendant une minute, et, au bout de ce temps, on faisait la lecture. J'ai pu faire une expérience intéressante en marche, en suivant un guide qui portait l'instrument sur le dos. Les observations ont été peu nombreuses; on les trouvera dans le tableau 3 :

DATE ET HEURE	LOCALITÉ	Altitude en mètres	Litres inspirés	NOTES
		Sujet : M. J. Vallot.		
14 juil. 1887, 9 h. 30 m.	Chamonix	1050	6	Préparatifs
14 — — 11 h. m.	Pentes de Planpraz	1200	10	*En marche.* Essoufflement
14 — — 2 h. s.	Planpraz	2050	6	Au repos, 2 h. après l'ascension
29 — — 8 h. s.	Mont Blanc	4800	7 à 9	Au repos. Monté la veille
31 — — 6 h. m.	Mont Blanc	4800	10	Au repos. Monté depuis 3 jours

3. — Ventilation pulmonaire brute, en litres.

Les résultats sont donnés en litres par minute, sans aucune correction, les températures n'ayant pas été prises. On voit qu'aux stations inférieures, à Chamonix et à Planpraz, au repos, la ventilation brute était de 6 litres et que, *en marche*, en montant une pente assez rapidement pour être essoufflé, la ventilation monte à 10 litres, presque le double de ce qu'elle est au repos. Je fais remarquer ce chiffre, parce que je n'ai vu nulle part un chiffre se rapportant à la ventilation en marche : il est intéressant de savoir, au moins approximativement, ce qu'elle devient.

Au Mont Blanc, au repos, la ventilation a augmenté par le séjour, jusqu'à atteindre 10 litres, c'est-à-dire un chiffre aussi fort que celui de la plaine lorsqu'il y a essoufflement ; seulement, au Mont Blanc, cette respiration élargie se fait sans peine ni gêne aucune.

Ces chiffres m'ont paru assez probants pour pouvoir publier (1) en 1887, dans le travail déjà cité, la conclusion que le séjour prolongé à l'altitude du Mont Blanc produit une augmentation de la ventilation pulmonaire, due à l'augmentation de la profondeur des inspirations.

ORGANISATION DES NOUVELLES EXPÉRIENCES

Ces conclusions étaient intéressantes, mais les procédés étaient trop sommaires pour que l'on puisse s'en contenter, et, une fois l'observatoire construit, j'ai cherché à les vérifier par des procédés plus exacts. Voici les moyens et les instruments qui ont été employés.

L'air était mesuré avec un compteur à gaz de précision à trois cadrans dont j'ai vérifié le tarage. Les chiffres étaient lus au centilitre. Le même compteur servait aux deux stations, et était transporté, à chaque expédition, pour éviter tout changement d'instrument qui aurait pu fausser les expériences, et était placé de nouveau avec le plus grand soin sur une table, où il n'était jamais déplacé pendant le séjour. Le liquide du compteur était de l'eau aux stations inférieures; à l'observatoire, l'eau était additionnée d'un dixième de son volume de glycérine. Ce mélange est très liquide et ne gêne aucunement la respiration; il n'est guère susceptible de geler, et au Mont Blanc il était versé, au départ, dans un seau couvert; au retour, même au bout d'un an, on le retrouvait liquide ou à l'état de gelée semi-liquide, qu'il suffisait de faire chauffer légèrement pour l'avoir complètement liquide. On pouvait ainsi commencer les expériences une heure après l'arrivée, tandis qu'il aurait été plus long de se procurer, par la fusion de la neige, l'eau nécessaire pour remplir le compteur. Cet appareil est très doux et d'un bon usage, à condition qu'on ne laisse pas la température descendre trop bas. Il n'a refusé le service qu'une fois, par — 7° de température à l'intérieur.

L'inspiration se faisait *à travers* le compteur, ce qui est le meilleur mode d'opérer, car les muscles de l'inspiration sont beaucoup plus forts que ceux de l'expiration et sont plus aptes à vaincre la légère résistance de l'instrument. Pour empêcher le retour de l'air dans le compteur, j'avais choisi



primitivement, d'après les conseils de M. Mosso, une paire de valvules de Muller, mais les premières expériences m'ont fait voir que ces appareils introduisaient dans mes expériences une grande cause d'erreur. J'éprouvais une grande gêne dans l'acte respiratoire, les inspirations devenaient plus profondes et moins fréquentes, et, à la fin de l'expérience, au bout d'un quart d'heure, j'éprouvais un impérieux besoin de respirer fortement et profondément. La quantité d'air inspirée était moins considérable que dans l'état habituel, et le nombre des inspirations par minute, de 16 habituellement, n'était plus que de 11. Divers essais ayant montré que c'est la valvule d'expiration qui met obstacle à l'acte respiratoire, tandis que la valvule d'inspiration ne produit aucune gêne notable et que le rythme de la respiration n'est pas troublé lorsqu'on supprime la première valvule, j'ai opéré de la manière suivante :

Le nez étant serré avec une pince, la respiration se fait par la bouche, à travers une valvule de Muller d'aspiration, interposée dans un tuyau de caoutchouc de fort diamètre, qui se termine dans la bouche par un tube de verre. L'expiration se fait directement à l'air libre, en entr'ouvrant la bouche et tenant le tube entre les dents. La valvule d'aspiration ne paraît pas très utile pour un sujet habitué; elle a été conservée pour empêcher plus sûrement l'air expiré de retourner dans le compteur. Quant à la valvule de sortie, elle est supprimée et n'a aucune utilité pour ces expériences, puisque les gaz expirés ne sont pas recueillis.

Je conviens qu'il faut une certaine habitude pour respirer avec régularité en aspirant dans le tube et expirant à l'air libre, mais cette habitude est très facile à prendre. On s'habitue même très vite à boucher l'orifice des fosses nasales avec le voile du palais, de sorte qu'on peut supprimer la pince du nez.

La question de la forme à donner à l'embouchure est très controversée, par la raison que tous les sujets ne respirent pas de même, et que l'avis de chaque expérimentateur dépend de sa propre manière de respirer. M. Chauveau, M. Tissot et d'autres auteurs préconisent un appareil introduit dans les narines, estimant que la respiration nasale est la respiration naturelle. M. Mosso, au contraire, ne veut pas entendre parler de l'appareil nasal; il pense que le concours simultané de la bouche et du nez est nécessaire pour la respiration habituelle, et il se sert d'un

masque en gutta-percha renfermant ces deux organes et s'appliquant sur la face.

Le docteur Küss est pour la respiration nasale, mais, reconnaissant qu'elle ne convient pas à certains sujets, il a fait construire pour ceux-ci une large embouchure buccale. Quant à moi, je respire ordinairement en grande partie par la bouche, et je me sens bientôt étouffer si je n'ai que le nez à mon service, surtout au Mont Blanc, où le vent froid me cause, presque toujours, des rhumes de cerveau. Je me servais, dans les expériences, uniquement de la bouche, dans laquelle je tenais un simple tube de verre cylindrique d'environ 15 millimètres de diamètre.

Des divergences aussi grandes se rencontrent au sujet de l'appareil de mesure de l'air inspiré. M. Mosso s'est servi de compteurs à gaz de petit format, dont le transport se fait facilement. Le docteur Küss rejette de tels instruments, qui provoquent une certaine gêne de la respiration ; il s'est servi d'abord d'un compteur de très grand format et plus tard du spiromètre de Tissot, dans lequel on respire aussi bien qu'à l'air libre. De mon côté, j'avais adopté le compteur de petit format que m'avait indiqué M. Mosso.

J'ai profité de la présence à Chamonix du docteur Küss pour lui demander de faire avec moi quelques expériences sur les embouchures. Les appareils furent disposés ainsi qu'il suit :

A une extrémité d'un tube de caoutchouc était fixée l'embouchure à expérimenter; l'autre extrémité était fixée sur un robinet à trois voies, dont l'une se rendait à l'air libre, l'autre à mon compteur et la troisième au spiromètre de Tissot. L'embouchure étant choisie, je me plaçais dans le fauteuil, et le docteur Küss faisait l'expérience, donnant accès à l'inspiration successivement par chacune des trois ouvertures du robinet. L'appareil nasal n'a pas été essayé, puisque je sais qu'il ne convient pas à mon mode respiratoire. Voici les principaux résultats de ces expériences.

L'ajutage buccal du docteur Küss, composé d'un large tube aplati, de la grosseur de la trachée, terminé par une sorte de large rigole où s'insèrent les lèvres, n'a donné aucune différence de sensation en passant de l'air libre au spiromètre de Tissot. Au contraire, employée avec mon compteur, cette embouchure a causé une telle gêne respiratoire, qu'il m'a semblé qu'on me bâillonnait tout à coup. J'ai été obligé de respirer violemment, beaucoup plus profondément et avec une grande peine.

Étonné de la sensation très pénible que je ressentais et qui provoquait un grand changement du rythme respiratoire, j'ai voulu essayer mon embouchure habituelle, simple tube de verre d'ouverture plus petite, mais qui se tient entre les lèvres comme un cigare. La sensation d'asphyxie et de bâillon disparut totalement, et je me rendis compte que la forme et la dimension de cette embouchure permettaient à mes joues et à mes lèvres d'exercer une forte *succion* qui me procurait sans peine l'air nécessaire à la respiration. Un tube de dimension moyenne permet de sucer comme un enfant qui tette, et cette succion se produit sans fatigue, tandis qu'une embouchure largement ouverte laisse tout le travail au poumon, et la fatigue se produit immédiatement. J'en conclus que j'avais choisi la meilleure embouchure pour un sujet qui ne respire pas par le nez, en même temps que la plus simple.

Cependant, même avec cette embouchure, j'éprouvais encore une certaine gêne, que je n'avais pas ressentie d'ordinaire pendant mes expériences. Je l'attribuai à la longueur des tubes que nécessitait l'appareil compliqué pour les mesures comparatives. Branchant alors mon tube habituel, beaucoup plus court, sur le compteur, je sentis cette gêne disparaître, et la respiration se fit toujours avec le secours de la succion, mais avec le même rythme qu'à l'air libre. Je crois donc que mon mode opératoire doit donner une respiration sensiblement égale à celle qui se produit à l'air libre, car j'ai remarqué qu'à une gêne respiratoire correspond toujours un changement de rythme; ici, le rythme étant le même, la quantité d'air inspiré ne doit pas changer.

Je crois donc que des appareils tels que ceux que j'ai employés peuvent donner des résultats dignes de confiance. L'important est que le sujet soit bien habitué à son matériel et qu'il opère de même aux deux stations ; les expériences sont alors bien comparables. Il faut aussi que le sujet ait toujours la même position ; couché, il ne donne pas les mêmes résultats qu'assis, et un fauteuil ne donne pas les mêmes chiffres qu'une chaise.

Pour la mesure de la capacité pulmonaire, il est bon également d'opérer par aspiration. On vide le poumon aussi complètement que possible, puis on fait une aspiration complète à travers le compteur. La première opération exige un certain exercice, car on sait que le poumon ne se vide pas complètement, et le sujet s'entraîne tout d'abord à le vider de plus en plus ; aussi les chiffres obtenus sont trop faibles les premières fois, mais le sujet

s'habitue en peu de temps à vider le poumon de la même manière, et les résultats n'augmentent plus.

Il est très important, lorsqu'on opère sur soi-même pour étudier une fonction aussi dépendante de la volonté que la respiration, de se mettre dans des conditions telles que la lecture des résultats ne vienne pas influencer inconsciemment les résultats. On y arrive en ne remettant jamais le compteur au zéro. Chaque expérience se note par une lecture au commencement et une autre à la fin. La différence se calcule plus tard, au bureau, et donne le chiffre de l'expérience; comme ce chiffre n'est pas lu par l'opérateur, celui-ci ne peut être influencé.

La respiration étant fortement influencée par le mouvement, il est nécessaire de faire reposer le sujet assez longtemps avant chaque expérience. Ordinairement, je restais assis une demi-heure avant de commencer, sauf indication contraire sur le registre. L'expérience durait un quart d'heure, pendant lequel je notais la respiration de minute en minute. Plus tard, l'examen des séries a permis de voir si les observations étaient faites dans de bonnes conditions, et la longueur de chaque expérience a permis d'obtenir une valeur moyenne, ainsi qu'il est utile et même nécessaire dans l'étude d'un élément aussi variable.

Les expériences ont été faites au cours de quatre expéditions, en 1898, 1899 et 1900. En 1898, j'ai séjourné trois fois au Mont Blanc; je devais commencer les expériences dès le premier séjour, mais le compteur à gaz fut précipité dans un ravin profond pendant l'ascension et mis en pièces. Ce n'est qu'au moment de l'expédition suivante que je pus en avoir un autre, et les expériences furent faites pendant la seconde et la troisième expédition de cette saison. Ces expériences portent donc sur un sujet déjà entraîné par une première expédition peu de temps auparavant. Je dois signaler le fait que, durant l'expédition du 6 au 19 août 1898, j'ai souffert d'une violente crise rhumatismale sur un œil, et j'ai été obligé d'absorber de fortes quantités de salicylate de soude. La crise a cessé deux jours avant la descente. Les observations ayant été nombreuses en 1898, les résultats s'appuient sur des moyennes, tandis qu'en 1899 et 1900 il n'a été fait qu'une observation par jour, mais à heure à peu près fixe.

Je ferai remarquer enfin que je ne me suis pas placé dans des conditions théoriques, avec sujets à jeun et sans mouvement. Mon but a été de con-



naître *l'état physiologique d'un expérimentateur séjournant au Mont Blanc et y faisant son travail régulier.*

Les expériences de 1886 et de 1887 avaient été faites au sommet même du Mont Blanc. Celles de 1898 à 1900 ont été exécutées dans mon premier observatoire, à 4.365 m. d'altitude, puis dans le second, à 4.350 m. environ.

Expériences sur M. de Goumoëns. — Désireux de vérifier sur un autre sujet les expériences faites sur moi-même, j'ai accepté avec plaisir l'offre de M. de Goumoëns, qui m'a proposé de se soumettre aux mêmes expériences en 1899 et 1900. Comme il arrive dans le cas d'un concours bénévole, je n'ai pas pu opérer sur lui aussi complètement que sur moi-même. J'ai dû me contenter d'expériences de dix minutes, et je n'ai pas pu déterminer la variation diurne des éléments ; je l'ai supposée égale à la mienne, et j'ai employé les mêmes corrections que pour moi. Je n'ai pas pu toujours obtenir avant l'expérience un repos aussi long que j'aurais voulu. Je n'ai pu faire à Chamonix qu'une partie des expériences nécessaires pour la comparaison, le sujet étant parti généralement le lendemain de la descente ; j'ai dû suppléer en partie à cette lacune en allant faire quelques expériences complémentaires chez lui, à Saint-Fortunat (Ardèche). Enfin, le sujet n'était pas entraîné aux expériences au commencement, et je suis convaincu que les mesures de la capacité thoracique des trois ou quatre premiers jours se ressentent du défaut d'habitude, et qu'elles ne sont pas exactes. Plus tard, le sujet respirait régulièrement, et les expériences sont devenues comparables et ont été satisfaisantes également au cours de la seconde expédition.

Ces réserves faites, on pourra se servir des expériences faites sur M. de Goumoëns, comme vérification de celles qui ont été faites sur moi, mais on ne devra pas attacher une aussi grande importance à la comparaison avec Chamonix, où l'on manque d'observations. La marche des phénomènes au Mont Blanc donnera des résultats assez comparables à ceux que j'ai obtenus sur moi-même, en éliminant, pour la capacité thoracique, les premiers jours où le défaut d'entraînement semble avoir vicié les résultats.

Ces expériences ont l'avantage de mettre en comparaison un sujet très entraîné aux ascensions et habitué à l'habitation à grande altitude, et un sujet infiniment moins entraîné, bien qu'ayant déjà fait des courses de montagne. Il est possible qu'il ressorte une différence entre les deux.

VENTILATION PULMONAIRE

Calcul des expériences. — Le sujet étant assis et le dos appuyé, l'expérience durait 15 minutes au moins pour moi, et 10 minutes pour M. de Goumoëns. Une lecture du compteur était faite chaque minute, pendant l'arrêt de l'aiguille fourni par l'expiration. La différence entre les lectures

MONT BLANC

8 Septembre	Nombre d'inspirat.	Litres par minute	Capacité thoracique
5 h. 32 s.	21	9,5	à 5 h. 50
33	20	8,4	2,75
34	20	8,9	2,75
35	19	8,6	2,85
36	20	8,4	
37	19	8,4	
38	19	8,7	
39	19	9,1	
40	18	9,1	
41	18	9,2	
42	18	9,0	
43	17	8,0	
44	18	8,4	
45	18	8,4	
46	19	9,2	
Moyenne	18,8	8,7	2,78

CHAMONIX

24 Août	Nombre d'inspirat.	Litres par minute	Capacité thoracique
6 h. 51 m.	14	6,4	à 7 h. 10
52	13	6,2	3,25
53	13	6,3	3,10
54	13	5,8	3,25
55	12	5,6	3,20
56	12	5,6	3,30
57	12	5,6	3,30
58	13	5,6	
59	13	5,6	
7 h. m.	13	5,4	
1	13	6,0	
2	13	5,8	
3	13	5,1	
4	13	5,5	
5	13	5,4	
Moyenne	12,8	5,7	3,23

4.— Exemples de détermination de la ventilation pulmonaire et de la capacité thoracique.

successives donne la quantité d'air inspirée pendant chaque minute. Le compteur totalisant les quantités d'air inspirées, les petites erreurs de lecture se compensent d'une minute à l'autre. On obtient ainsi des séries qui permettent de contrôler la régularité de la respiration. Le tableau 4 donne, comme exemple, quelques-unes de ces séries. Celles-ci sont, en général, assez homogènes ; mais j'ai observé que la ventilation avait quelque tendance à diminuer légèrement, du commencement à la fin

de chaque expérience ; cela vient probablement de ce que le repos n'a pas toujours été d'assez longue durée avant l'expérience et que la préparation des observations empêche l'immobilité complète.

La capacité thoracique était mesurée après l'expérience de ventilation. On prenait, en général, trois mesures successives, ou plus, si ces mesures se trouvaient discordantes.

Pour le calcul, la première minute a toujours été rejetée, car elle donne un chiffre trop élevé, par suite de la mise en train de l'expérience. Les quatorze minutes suivantes servent à calculer la moyenne de la ventilation au moment de l'expérience. Cette période de quatorze minutes m'a paru suffisante, d'après l'examen de séries plus longues, pour qu'on puisse supposer que la moyenne représente la respiration normale. Ce sont les *moyennes* ainsi obtenues qui ont servi de base aux calculs. On les trouvera dans le tableau 5 (pages 16 et suivantes).

Corrections de température. — L'air, étant aspiré à la sortie du compteur, se trouvait à la température de cet instrument; cette température étant variable, il y a lieu de faire une correction pour ramener l'air à une température fixe.

Il eût été bon d'interposer un thermomètre dans une partie élargie du tuyau adducteur, pour mesurer exactement la température, mais cette disposition n'avait pas été adoptée. On a supposé que la température du compteur n'était pas éloignée de celle du laboratoire, et l'on s'est servi pour le calcul de la température approximative du laboratoire. On peut se rendre compte facilement de l'erreur introduite par l'oubli de cette précaution : une différence de température de 4° se traduit par une différence de volume de 0,1 lit. seulement; les variations irrégulières de la ventilation étant de 1 lit. et 2 lit. au cours d'une même journée. On voit que l'erreur est insignifiante et n'atteint guère que le dixième des variations irrégulières inévitables.

On sait que l'air sort du poumon à la température de 36° environ. C'est donc à 36° qu'il faudra ramener par le calcul les chiffres de la colonne *a* (tableau 5) indiqués par le compteur, car l'air, une fois introduit dans le poumon, se dilate et prend le volume relatif à cette température. La correction de température permettra de connaître le volume réel occupé par l'air dans le poumon ; cette correction doit être faite, avant tout, sur tous

les chiffres relatifs à la ventilation pulmonaire et à la capacité thoracique qui, sans cela, ne seraient pas comparables entre eux. On trouvera ces chiffres corrigés dans la colonne *c* du tableau 5 (pages 16 et suivantes).

Variation diurne de la ventilation. — La ventilation pulmonaire présente de grandes différences d'intensité aux diverses heures de la journée. La variation diurne de ce phénomène était très utile à étudier, soit dans la plaine, où elle semble peu connue, soit au Mont Blanc, où il fallait voir si elle offrait les mêmes caractères que dans la plaine.

La variation diurne a été étudiée pendant sept jours au Mont Blanc, sept jours à Chamonix et trois jours à Paris. Pour cela, des observations assez nombreuses, de cinq à neuf par jour, ont été exécutées, autant que possible à des heures caractéristiques, telles que au réveil, et avant et après les repas. Les résultats ont servi à calculer la variation diurne.

Pour calculer cette variation d'une manière rigoureuse, il eût été bon d'observer exactement à chaque heure de la journée; mais les autres études poursuivies en même temps, ajoutées au genre de vie de l'observatoire, presque impossible à régler convenablement, ont empêché d'opérer avec cette régularité. On pourra cependant, à l'aide de certains artifices, arriver à calculer la variation diurne avec une exactitude en rapport avec son amplitude.

Le tableau 5, colonne *c*, donne les valeurs réelles, c'est-à-dire ramenées à la température de 36°, qui est celle du poumon, de la ventilation pendant les périodes étudiées, et les graphiques 1, 2 et 3 figurent ces valeurs. Les bandes grises indiquent l'heure des repas, 7 ou 8 heures du matin, midi et 7 heures du soir. Ces heures n'ont pas toujours été, au Mont Blanc, aussi régulières qu'il eût été désirable.

L'examen des graphiques est très instructif. Ceux de Chamonix et de Paris montrent, en général, une rapide ascension de la courbe après chaque repas. Presque partout cet effet est frappant. La régularité générale des variations autorise à calculer la moyenne horaire de la ventilation. Pour cela, il faut tenir compte de ce fait que les observations ne sont pas faites à des heures régulières.



DATE	HEURE	VENTILATION brute par minute *a*	TEMPÉRAT. approxim. *b*	VENTILATION à 36° par minute *c*	VENTILATION à 36°, corrigée		VENTILATION à 0° et à 0,760	
					par observation *d*	Moyenne de la journée *e*	par observation *f*	Moyenne de la journée *g*
1898				Chamonix. — Pression 0,67.				
14 juillet	8. 15 m.	»	18	»	»		»	
—	5. 0 s.	7,0	18	7,46	7,36	7,7	5,64	5,9
—	10. 0 s.	7,1	18	7,58	7,98		6,11	
16 juillet	6. 45 m.	6,1	18	6,50	7,70	7,7	5,90	5,9
1898				Mont Blanc. — Pression 0,45.				
6 août	3. 30 s.	8,5**	5	9,48**	8,78**	8,8	4,51**	4,5
—	8. 15 s.	8,7	8	9,60	8,80		4,52	
7 août	5. 45 m.	6,9	2	7,77	8,27	9,0	4,24	4,6
—	1. 30 s.	9,7	8	10,70	9,10		4,67	
—	9. 0 s.	9,1	10	9,96	9,66		4.96	
8 août	7. 15 m.	6,5	3	7,29	7,19	7,9	3,69	4,1
—	3. 0 s.	7,9	10	8,65	7,75		3,98	
—	8. 0 s.	8,9	10	9,75	8,75		4,50	
9 août	7. 30 m.	8,0	3	8,97	8,87	8,3	4,56	4,3
—	2. 15 s.	8,7	10	9,53	8,63		4,38	
—	8. 30 s.	7,7	10	8,43	7,83		4,02	
10 août	7. 10 m.	»	— 6	»	»		»	
—	4. 30 s.	8,6	5	9,60	9,60	9,0	4,92	4,6
—	9. 0 s.	7,9	8	8,71	8,41		4,32	
18 août	7. 15 m.	8,2	3	9,20	9,10	8,6	4,67	4,4
—	3. 15 s.	8,6	10	9,42	8,60		4,42	
—	8. 0 s.	8,3	10	9,10	8,10		4,16	
12 août	6. 45 m.	7,5	3	8,41	8,61	9,5	4,42	4,9
—	4. 45 s.	8,3	10	9,10	9,40		4,83	
—	9. 45 s.	9,5	10	10,40	10,50		5,34	
13 août	8. 15 m.	7,8	5	8,70	8,50	9,4	4,37	4,8
—	5. 30 s.	9,4	10	10,30	10,60		5,49	

NOMBRE d'inspirations par minute		VENTILATION par inspiration		CAPACITÉ THORACIQUE			OBSERVATIONS
par observation *h*	Moyenne de la journée *i*	à 36° *k*	à 0° et à 0,760 *l*	brute *m*	à 36° *n*	Moyenne de la journée	
			Sujet : M. J. Vallot.				
»				2,57*	2,74*	2,77*	* *Chiffres trop faibles par défaut d'habitude. A rejeter.*
15,1	15,2	0,506	0,388	2,58*	2,75*		** *Chiffres rejetés pour la moyenne du 6 août.*
15,2				2,65*	2,82*		
14,9	14,9	0,516	0.396	2,72*	2,89*	2,89*	
			Sujet : M. J. Vallot.				
16,7**	16,9	0,527	0,266	2,74**	3,05**	2,81	Arrivé à midi 30, déjeuné et mis l'appareil en station.
16,9				2,55	2,81		Après dîner et repos.
14,2	15,1	0,595	0,304	2,37	2,67	2,67	En me levant.
15,5				2,43	2,68		Le matin dehors. Rentré à 11 h. Déjeuné à midi. Bon appétit.
15,6				2,43	2,67		Au repos.
13,4	14,9	0,530	0,275	2,53	2,83	2,77	En me levant. Bien portant.
15,6				2,50	2,74		Au repos. Toute la journée dans le laboratoire.
15,6				2,51	2,75		Après dîner à 6 h. Au repos.
13,6	14,9	0,556	0,288	2,70	3,03	2,88	En me levant.
15,4				2,60	2,85		Au laboratoire, après déjeuné à midi.
15,8				2,53	2,77		Au repos. Pas sorti de la journée.
»				»	»		Compteur gelé. Température de l'air — 6° dans la chambre.
16,4	15,6	0,557	0,295	2,55	2,84	2,79	Repos relatif. Occupé à diriger l'aménagement de l'Observatoire.
14,8				2,48	2,73		Après avoir pris 3 grammes de salicylate de soude.
14,8	14,9	0,577	0,296	2,50	2,80	2,85	En me levant. Rhumatisant fiévreux.
15,0				2,62	2,87		Fiévreux, céphalalgie. Pas sorti. Pris quinine, antipyrine, salicylate.
15,0				2,63	2,88		Au repos. Conjonctivite douloureuse et céphalalgie.
16,4	15,9	0,598	0,308	2,54	2,85	2,82	En me levant. Céphalalgie.
15,0				2,57	2,82		Repos d'une demi-heure après séjour dehors.
16,2				2,55	2,80		Repos, après dîner à 7 h.
14,0	14,6	0,644	0,328	2,53	2,82	2,76	En me levant. Expérience après un peu de mouvement.
15,2				2,50	2,74		Peu après être allé au chantier du nouvel observatoire.

DATE	HEURE	VENTILATION brute par minute *a*	TEMPÉRAT. apprexim. *b*	VENTILATION à 36° par minute *c*	VENTILATION à 36° corrigée par observation *d*	VENTILATION à 36° corrigée Moyenne de la journée *e*	VENTILATION à 0° et à 0,760 par observation *f*	VENTILATION à 0° et à 0,760 Moyenne de la journée *g*
1898	Mont Blanc. — Pression 0,45							
13 août	8. 45 s.	8,6	10	9,42	8,92		4,58	
14 août	7. 0 m.	8,8	3	9,87	9,97	9,8	5,11	5,0
—	3. 45 s.	8,2	10	8,99	8,49		4,35	
—	8. 30 s.	10,5	10	11,50	10,80		5,54	
15 août	7. 45 m.	9,4	3	10,53	10,13	10,6	5,20	5,5
—	2. 45 s.	9,2	10	10,08	9,18		4,71	
—	8. 45 s.	12,0	10	13,13	12,63		6,49	
16 août	8. 0 m.	9,0	4	10,60	10,0	10,2	5,10	5,2
—	3. 15 s.	9,7	10	10,63	9,83		5,03	
—	9. 30 s.	10,0	10	10,95	10,85		5,55	
17 août	6. 50 m.	10,0	3	11,21	11,51	11,1	5,95	5,7
—	3. 45 s.	10,2	10	11,17	10,67		5,49	
—	9. 15 s.	10,4	10	11,39	11,29		5,80	
18 août	5. 45 m.	9,0	2	10,13	10,73	10,5	5,55	5,4
—	3. 30 s.	10,4	10	11,39	10,79		5,54	
—	10. 30 s.	8,7	10	9,53	10,23		5,25	
19 août	6. 30 m.	8,6	3	9,64	9,94	9,9	5,10	5,1
1898	Chamonix. — Pression 0,67							
20 août	2. 15 s.	7,9	18	8,43	7,83	7,8	6,00	6,0
—	11. 0 s.	6,7	18	7,14	7,74		6,00	
21 août	7. 45 m.	6,7	18	7,14	7,94	7,8	6,07	6,0
—	3. 15 s.	7,8	18	8,32	7,82		5,99	
—	10. 45 s.	6,7	18	7,14	7,64		5,85	
22 août	8. 15 s.	5,9	18	6,29	6,79	7,2	5,20	5,4
—	2. 45 s.	7,3	18	7,78	7,18		5,50	
—	9. 30 s.	7,1	18	7,56	7,56		5,70	
23 août	7. 45 m.	5,7	18	6,08	6,88	7,2	5,26	5,5
—	9. 30 s.	7,1	18	7,56	7,56		5,79	
24 août	7. 0 m.	5,7	18	6,07	7,27	7,9	5,55	6,1
—	7. 0 s.	7,6	18	8,10	8,60		6,59	

NOMBRE d'inspirations par min.		VENTILATION par inspiration		CAPACITÉ THORACIQUE			OBSERVATIONS
par observation *h*	Moyenne de la journée *i*	à 36° *k*	à 0° et à 0,760 *l*	brute *m*	à 36° *n*	Moyenne de la journée	
			Sujet : M. J. Vallot.				
14,7				2,49	2,73		Repos, après dîner à 6 h. 30.
14,0	14,6	0,672	0,342	2,50	2,80	2,87	En me levant.
15,0				2,65	2,90		Après repos d'une heure.
15,0				2,65	2,90		Après le dîner.
14,1	14,1	0,753	0,391	2,52	2,82	2,75	En me levant.
13,3				2,52	2,76		Au repos dans l'observatoire.
14,8				2,42	2,66		Le soir après dîner. Mon rhumatisme va beaucoup mieux.
14,4	14,8	0,690	0,352	2,64	2,95	2,85	En me levant.
15,3				2,56	2,81		Au repos depuis midi. Le mieux continue.
14,6				2,54	2,79		Repos depuis le dîner.
13,3	13,7	0,810	0,417	2,70	3,03	2,98	En me levant. Très peu de douleur rhumatismale.
14,6				2,70	2,96		Au repos depuis quelque temps après une petite visite au chantier.
13,2				2,70	2,96		Au repos.
13,7	13,7	0,768	0,394	2,70	3,04	3,03	En me levant.
13,9				2,67	3,00		Après repos de 35 min. suivant une longue visite du chantier.
13,4				2,71	3,04		Repos de 30 min. après rangement. J'ai sommeil.
14,8	14,8	0,669	0,344	2,65	2,98	2,98	En me levant. Il fait froid, 2° dans la chambre.
16,4	16,0	0,487	0,375	2,97	3,17	3,15	Au repos.
15,6				2,92	3,12		Au repos.
15,6	15,9	0,490	0,377	3,18	3,39	3,32	Levé et descendu au laboratoire.
16,6				3,23	3,44		Au repos depuis midi.
15,6				2,92	3,12		Au repos, après dîner d'amis à la maison.
14,4	15,2	0,473	0,355	3,10	3,30	3,26	En me levant. J'ai sommeil.
16,0				3,08	3,28		Au repos. J'ai sommeil.
15,2				3,00	3,20		Au repos. J'ai sommeil.
13,4	14,0	0,514	0,392	3,23	3,44	3,39	Après ma toilette.
14,6				3,14	3,34		Au repos. Longue promenade dans la journée.
12,8	13,8	0,572	0,442	3,23	3,44	3,36	Après ma toilette.
14,8				3,07	3,27		Après course à l'Ognan.

DATE	HEURE	VENTILATION brute par minute *a*	TEMPÉRAT. approxim. *b*	VENTILATION à 36° par minute *c*	VENTILATION à 36°, corrigée — par observation *d*	VENTILATION à 36°, corrigée — Moyenne de la journée *e*	VENTILATION à 0° et à 0,760 — par observation *f*	VENTILATION à 0° et à 0,760 — Moyenne de la journée *g*
1898				Chamonix. — Pression 0,67				
25 août	7. 45 m.	6,2	18	6,61	7,41	7,2	5,67	5,5
—	3. 45 s.	6,9	18	7,36	6,96		5,33	
—	9. 45 s.	6,5	18	6,94	7,14		5,47	
27 août	7. 45 m.	5,9	18	6,29	7,09	7,2	5,43	5,5
—	3. 0 s.	6,8	18	7,25	6,75		5,17	
—	10. 15 s.	6,8	18	7,25	7,75		6,01	
29 août	5. 0 s.	6,3	18	6,72	6,62	7,4	5,06	5,7
—	10. 15 s.	7,2	18	7,68	8,18		6,26	
30 août	7. 45 m.	6,0	18	6,40	7,20	7,0	5,51	5,4
—	3. 30 s.	6,5	18	6,93	6,43		4,92	
—	10. 0 s.	6,6	18	7,04	7,44		5,68	
31 août	6. 15 s.	5,9	18	6,29	6,49	6,5	4,96	5,0
1898				Mont Blanc. — Pression 0,45				
1er sept.	6. 45 s.	8,1*	5	9,00*	9,20*		4,72*	
—	9. 15 s.	7,3	10	8,00	7,80	7,8	4,00	4,0
2 sept.	5. 30 m.	7,6	2	8,55	9,15	7,8	4,69	4,0
—	4. 30 s.	6,6	10	7,23	7,23		3,71	
—	8. 45 s.	6,9	10	7,56	7,06		3,62	
3 sept.	6. 30 m.	6,7	3	7,50	7,80	7,6	4,00	3,9
—	4. 20 s.	7,7	10	8,43	8,03		4,12	
—	9. 30 s.	6,5	10	7,12	6,82		3,50	
4 sept.	6. 30 m.	7,7	3	8,63	8,93	8,4	4,58	4,3
—	3. 15 s.	8,0	10	8,76	7,96		4,10	
—	9. 15 s.	7,9	10	8,65	8,45		4,34	
5 sept.	6. 0 m.	8,5	3	9,53	10,03	8,8	5,15	4,5
—	1. 0 s.	9,7	10	10,63	8,53		4,37	

NOMBRE d'inspirations par minute		VENTILATION par inspiration		CAPACITÉ THORACIQUE			OBSERVATIONS
par observation *h*	Moyenne de la journée *i*	à 36° *k*	à 0° et à 0,760 *l*	brute *m*	à 36° *n*	Moyenne de la journée	
				Sujet : M. J. Vallot.			
12,5	13,8	0,522	0,398	3,18	3,39	3,37	Après ma toilette.
15,4				3,17	3,38		Après développement de clichés, debout pendant une heure.
13,8				3,14	3,84		Au repos
13,5	13,2	0,546	0,417	3,29	3,50	3,45	Après ma toilette.
14,4				3,23	3,44		Au repos.
12,6				3,20	3,41		Repos après avoir préparé les charges pour l'expédition. Départ et retour.
12,8	13,7	0,540	0,416	3,01	3,21	3,23	Après déballage et installation de l'appareil rapporté à Chamonix.
14,6				3,05	3,25		Au repos.
12,2	13,4	0,522	0,403	3,14	3,34	3,33	En me levant.
14,3				3,15	3,35		Au repos. Travail de calcul depuis le déjeuner.
13,8				3,09	3,29		Au repos.
12,8	12,8	0,508	0,392	3,24	3,45	3,45	Après ma toilette.
				Sujet : M. J. Vallot.			
18,1*	»	0,535*	0,273*	2,95*	3,29*	»	1 h. après l'arrivée, en montant par l'aiguille du Goûter. Occupé vivement aux préparatifs de l'expérience.
14,6	14,6			2,75	3,01	3,01	Repos après dîner. Très léger mal à la tête.
14,4	14,9	0,523	0,268	2,60	2,92	2,89	En me levant. Bien portant.
15,8				2,64	2,89		Un moment de repos après séjour sur le chantier, sans efforts.
14,4				2,61	2,86		Repos depuis le dîner.
14,1	14,9	0,510	0,262	2,48	2,78	2,79	En me levant. Bien portant.
15,2				2,62	2,87		Repos, après surveillance du chantier.
15,3				2,47	2,71		Repos. J'ai grand sommeil.
15,3	16,1	0,522	0,267	2,62	2,95	2,85	En me levant. Bien portant.
16,2				2,53	2,78		Après repos d'une heure et demie.
16,9				2,63	2,88		Au repos.
15,9	16,8	0,523	0,268	2,62	2,95	2,89	En me levant, compteur froid, dur à aspirer.
17,6				2,65	2,90		Après déjeuner et m'être habillé pour le Mont Blanc, j'y monte.

DATE	HEURE	VENTILATION brute par minute *a*	TEMPÉRAT. approxim. *b*	VENTILATION à 36° par minute *c*	VENTILATION à 36°, corrigée — par observation *d*	VENTILATION à 36°, corrigée — Moyenne de la journée *e*	VENTILATION à 0° et à 0,760 — par observation *f*	VENTILATION à 0° et à 0,760 — Moyenne de la journée *g*
1898		Mont Blanc. — Pression 0,45						
5 sept.	7. 0 s.	7,4	10	8,12	8,82		4,52	
—	9. 15 s.	7,5	10	8,23	8,03		4,12	
6 sept.	6. 0 m.	7,9	3	8,86	9,36	8,5	4,80	4,4
—	7. 30 s.	7,0	10	7,68	8,38		4,30	
—	9. 30 s.	7,3	10	8,00	7,70		3,95	
7 sept.	3. 30 m.	7,3	0	8,27	8,47	»	4,34	»
—	5. 0 m.	7,0	3	7,85	8,55	»	4,38	
—	7. 0 m.	8,8	5	9,80	9,90	8,7	5,06	4,4
—	9. 0 m.	6,8	7	7,53	8,53		4,37	
—	11. 45 m.	7,8	9	8,59	8,89		4,55	
—	2. 15 s.	9,2	10	10,08	9,08		4,65	
—	4. 15 s.	7,5	10	8,23	8,03		4,12	
—	6. 45 s.	7,4	10	8,12	8,62		4,42	
—	9. 0 s.	7,6	12	8,28	7,98		4,10	
8 sept.	6. 0 m.	7,9	5	8,80	9,30	9,6	4,77	4,9
—	7. 15 m.	8,4	7	9,30	9,20		4,72	
—	8. 0 m.	8,6	8	9,50	8,90		4,56	
—	11. 15 m.	7,6	10	8,34	8,94		4,58	
—	2. 45 s.	10,3	12	11,22	10,32		5,28	
—	5. 30 s.	8,7	12	9,48	9,88		5,05	
—	9. 0 s.	9,9	12	10,78	10,48		5,38	
9 sept.	5. 45 m.	7,9	5	8,80	9,30	9,3	4,77	4,8

NOMBRE d'inspirations par minute		VENTILATION par inspiration		CAPACITÉ THORACIQUE			OBSERVATIONS
par observation *h*	Moyenne de la journée *i*	à 36° *k*	à 0° et à 0,760 *l*	brute *m*	à 36° *n*	Moyenne de la journée	
16,6				2,67	2,93		1 heure après course très rapide au Mont-Blanc, puis avoir changé de vêtements et avoir fait des dosages chimiques à ma table.
17,0				2,53	2,77		Repos après dîner.
15,8	16,5	0,515	0,267	2,65	2,98	2,89	En me levant. Bien portant.
18,1				2,51	2,76		30 min. après retour du Mont Maudit. Léger mal à la tête.
15,6				2,68	2,94		Repos après dîner.
15,5	»	»	»	2,60	2,94		En me levant. Très froid aux pieds.
16,4	»	»	»	2,53	2,83		Au repos dans le laboratoire. Levé depuis 3 h. du matin.
16,3	17,6	0,494	0,250	2,67	2,98	2,89	Au repos, après déjeuner.
16,1				2,57	2,84		Au repos, après visite au chantier.
16,6				2,63	2,89		Idem. Compteur dur à respirer, surtout au commencement.
20,3				2,63	2,88		Après déjeuner à 1 heure. Le compteur semble toujours un peu dur, mais ce doit être une illusion, car la chambre est à 7° et le compteur a été chauffé par le poêle.
18,5				2,62	2,87		Repos depuis 2 heures.
18,2				2,56	2,81		Repos, après visite au chantier.
17,4				2,72	2,97		Après déménagement. Compteur dans le nouvel observatoire.
17,1	18,0	0,533	0,272	2,70	3,01	3,01	En me levant. Le compteur n'est plus dur dans le nouvel observat. où il fait plus chaud.
18,0				2,63	2,91		Repos, après être allé à l'ancien observatoire.
18,3				2,70	2,98		Au repos après déjeuner.
16,9				2,68	2,94		Au repos.
20,0				2,85	3,10		Au repos, après être descendu au Dôme, puis avoir déjeuné à 1 h. 30.
18,8				2,78	3,03		Repos, après visite à l'ancien observatoire.
17,0				2,87	3,12		Au repos.
17,3	17,6	0,528	0,272	2,75	3,04	3,07	Au repos. Levé depuis 5 h. Compteur doux à l'inspiration, bien que la température soit inférieure à — 2°.

DATE	HEURE	VENTILATION brute par minute	TEMPÉRAT. approxim.	VENTILATION à 36° par minute	VENTILATION à 36°, corrigée		VENTILATION à 0° et à 0,760	
					par observation	Moyenne de la journée	par observation	Moyenne de la journée
		a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*
1898		Mont Blanc. — Pression 0,45						
9 sept.	8. 30 m.	8,7	8	9,60	9,80		5,02	
—	3. 45 s.	9,4	12	10,24	9,74		5,00	
—	6. 45 s.	7,9	12	8,60	9,20		4,72	
—	10. 30 s.	7,2	12	7,84	8,54		4,38	
10 sept.	7. 15 m.	8,5	5	9,45	9,35	8,9	4,79	4,6
—	11. 30 m.	7,4	8	8,16	8,66		4,44	
—	2. 0 s.	9,5	12	10,35	9,35		4,79	
—	4. 45 s.	7,5	12	8,16	8,46		4,34	
—	8. 45 s.	8,4	12	9,15	8,65		4,43	
—	9. 30 s.	8,1	12	8,82	8,82		4,52	
11 sept.	7. 15 m.	7,8	5	8,68	8,58	9,1	4,41	4,7
—	8. 30 m.	8,7	8	9,60	9,80		5,02	
—	midi	8,5	10	9,31	9,51		4,88	
—	2. 0 s.	9,6	12	10,45	9,45		4,85	
—	4. 45 s.	7,4	12	8,05	8,35		4,28	
—	11. 15 s.	7,0	12	7,62	8,92		4,56	
12 sept.	7. 0 m.	7,3	5	8,11	8,21	8,6	4,21	4,4
—	11. 0 m.	7,4	8	8,16	8,96		4,59	
—	3. 0 s.	8,1	12	8,82	7,92		4,05	
—	6. 45 s.	7,0	12	7,62	8,22		4,22	
—	8. 15 s.	8,9	12	9,70	8,90		4,55	
—	10. 30 s.	7,9	12	8,60	9,40		4,82	
13 sept.	6. 30 m.	7,8	5	8,68	8,98	9,3	4,60	4,8
—	8. 0 m.	9,4	7	10,40	9,90		5,06	
—	11. 30 m.	8,1	9	8,91	9,40		4,82	
—	1. 15 s.	10,4	10	11,39	9,59		4,92	

NOMBRE d'inspirations par minute		VENTILATION par inspiration		CAPACITÉ THORACIQUE			OBSERVATIONS
par observation *h*	Moyenne de la journée *i*	à 36° *k*	à 0° et à 0,760 *l*	brute *m*	à 36° *n*	Moyenne de la journée	
			Sujet : M. J. Vallot.				
17,2				2,67	2,95		Repos, après déjeuner à 7 h. 40.
18,7				2,82	3,07		Après ascension au Mont Blanc, retour à 2 h. 15 et déjeuner à 2 h. 30.
18,6				2,97	3,23		Après rangement dans l'observatoire.
16,4				2,80	3,05		Au repos, après rangement.
15,3	16,2	0,550	0,283	2,76	3,07	3,03	Une heure après le lever.
17,5				2,60	2,88		Au repos. Je lutte très difficilement contre le sommeil.
16,9				2,80	3,05		Repos, après déjeuner.
16,6				2,88	3,13		Au repos.
17,1				2,75	3,00		Au repos, après dîner. Je lutte contre le sommeil.
14,0				»	»		Je lutte moins contre le sommeil.
17,0	16,8	0,542	0,280	2,68	2,99	3,03	En me levant.
15,6				2,70	2,98		Repos après déjeuner à 7 h. 30.
16,8				2,72	2,98		Au repos.
17,9				2,87	3,12		Au repos, après déjeuner à midi 15.
17,9				2,88	3,13		Au repos, après allées et venues.
15,9				2,73	2,98		Au repos.
16,0	16,9	0,508	0,260	2,73	3,04	3,01	En me levant.
17,1				2,62	2,90		Au repos.
17,4				2,85	3,10		Au repos.
17,2				2,64	2,88		Au repos, après travail de laboratoire.
17,4				2,81	3,06		Au repos, après dîner.
16,6				2,81	3.06		Au repos. J'ai sommeil.
15,3	16,9	0,550	0,283	2,70	3,01	2,91	En me levant.
15,7				2,68	2,97		Laboratoire, une heure après déjeuner.
17,5				2,58	2,84		Repos de 30 min., après rangement et efforts violents.
17,6				2,70	2,96		Au repos, après déjeuner à midi.

DATE	HEURE	VENTILATION brute par minute	TEMPÉRAT. approxim.	VENTILATION à 36° par minute	VENTILATION à 36°, corrigée		VENTILATION à 0° et à 0,760	
					par observation	Moyenne de la journée	par observation	Moyenne de la journée
		a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*
1898			Mont Blanc. — Pression 0,45					
13 sept.	2. 30 s.	8,1	12	8,82	7,82		4,01	
—	5. 0 s.	8,6	12	9,36	9,86		5,03	
—	6. 45 s.	8,1	12	8,91	9,41		4,83	
—	8. 30 s.	8,9	12	9,70	9,10		4,67	
—	10. 15 s.	8,3	12	9,04	9,64		4,94	
14 sept.	6. 45 m.	8,0	5	8,90	9,10	9,1	4,67	4,7
1898			Chamonix. — Pression 0,67					
15 sept.	8. 0 m.	6,3	18	6,72	7,42	7,2	5,66	5,5
—	9. 30 m.	6,9	18	7,36	7,56		5,76	
—	midi	6,3	18	6,72	7,22		5,53	
—	2. 0 s.	7,4	18	7,89	7,19		5,50	
—	4. 0 s.	7,5	18	8,00	7,60		5,81	
—	7. 0 s.	5,8	18	6,18	6,68		5,11	
—	9. 0 s.	6,7	18	7,14	6,74		5,15	
—	10. 15 s.	6,3	18	6,72	7,22		5,53	
16 sept.	7. 0 m.	5,4	18	5,76	6,96	7,2	5,33	5,5
—	8. 15 m.	6,6	18	7,04	7,54		5,75	
—	11. 45 m.	6,1	18	6,50	7,00		5,36	
—	1. 30 s.	7,7	18	8,22	7,22		5,52	
—	3. 45 s.	6,9	18	7,36	6,96		5,33	
—	5. 45 s.	6,9	18	7,36	7,36		5,63	
17 sept.	7. 30 m.	5,8	18	6,18	7,18	7,1	5,50	5,4
—	9. 0 m.	6,8	18	7,25	7,25		5,54	
—	1. 30 s.	7,4	18	7,89	6,89		5,27	
—	4. 45 s.	7,2	18	7,68	7,48		5,72	
—	6. 45 s.	5 8	18	6,18	6,58		5,02	
18 sept.	8. 0 m.	5,4	18	5.76	6,46	6,7	4,95	5,1
—	9. 0 m.	6,6	18	7,04	7 04		5,39	
—	10. 30 m.	5,6	18	5,96	6,36		4,87	
—	midi	5,4	18	5,75	6,25		4,78	
—	1. 15 s.	7,7	18	8,21	7,11		5,44	

NOMBRE d'inspirations par minute		VENTILATION par inspiration		CAPACITÉ THORACIQUE			OBSERVATIONS
par observation	Moyenne de la journée	à 36°	à 0° et à 0,760	brute	à 36°	Moyenne de la journée	
h	*i*	*k*	*l*	*m*	*n*		
				Sujet : M. J. Vallot.			
16,6				2,67	2,91		Au repos.
16,5				2,62	2,86		Travail de laboratoire.
17,4				2,63	2,87		Repos de 30 min. après travail de laboratoire.
18,4				2,67	2,91		Au repos.
17,0				2,65	2,89		Fait des paquets. Peu de mouvement.
13,5*	13,5*	0,675*	0,318*	2,73	3,04	3,04	Travail de laboratoire, fait des paquets.
				Sujet : M. J. Vallot.			
13,8	14,1	0,511	0,390	2,95	3,15	3,35	Après laboratoire, organisation de l'instrument et repos de 30 minutes.
14,6				3,10	3,30		Après déjeuner à 8 h .15 et toilette.
13,9				3,15	3,35		Au repos.
15,0				3,22	3,43		Au repos.
15,9				3,22	3,43		Au repos. Travail de laboratoire.
13,3				3,12	3,32		Au repos, 15 min. après promenade et montée.
13,8				3,20	3,41		Au repos, après diner à 7 h. 30.
12,4				3,23	3,44		Au repos.
10,4	12,3	0,585	0,447	3,10	3,30	3,33	En me levant.
11,1				3,22	3,43		Au repos avant déjeuner.
11,8				3,10	3,30		Au repos.
14,2				3,18	3,39		Après déjeuner. Je lutte contre le sommeil.
13,3				3,05	3,25		Au repos.
12,8				3,13	3,33		Au repos.
12,6	13,2	0,538	0,408	3,13	3,33	3,35	En me levant.
12,2				3,20	3,41		Au repos.
14,9				3,16	3,37		Au repos.
12,8				3,12	3,32		Au repos.
13,3				3,14	3,34		
11,3	12,2	0,549	0 48	3,10	8,30	3,35	En me levant.
11,8				3,27	3,48		Après ma toilette.
11,1				3,17	3,38		Au repos.
11,0				3,10	3,30		Au repos.
14,6				3,18	3,39		Au repos, après déjeuner,

DATE	HEURE	VENTILATION brute par minute *a*	TEMPÉRAT. approxim. *b*	VENTILATION à 36° par minute *c*	VENTILATION à 36°, corrigée par observation *d*	VENTILATION à 36°, corrigée Moyenne de la journée *e*	VENTILATION à 0° et à 0,760 par observation *f*	VENTILATION à 0° et à 0,760 Moyenne de la journée *g*
1898	Chamonix. — Pression 0,67							
18 sept.	3. 30 s.	6,3	18	6,72	7,12		5,45	
—	6. 45 s.	5,8	18	6,19	6,59		5,03	
—	8. 0 s.	8,0	18	8,54	6,64		5,08	
—	minuit	5,6	18	5,97	6,77		5,18	
19 sept.	8. 0 m.	5,7	18	6,08	6,78	6,7	5,19	5,1
—	9. 0 m.	5,9	18	6,30	6,30		4,81	
—	10. 0 m.	5,9	18	6,30	6,70		5,12	
—	midi	5,8	18	6,19	6,69		5,11	
—	1. 30 s.	7,3	18	7,80	6,80		5,21	
—	7. 0 s.	6,1	18	6,50	7,00		5,36	
20 sept.	7. 45 m.	4,9	18	5,22	5,92	6,4	4,52	4,9
—	9. 30 m.	5,2	18	5,54	5,74		4,39	
—	midi	6,0	18	6,40	6,90		5,28	
—	1. 30 s.	6,4	18	6,82	5,72		4,37	
—	7. 0 s.	6,3	18	6,72	7,22		5,52	
—	9. 0 s.	6,6	18	7,04	6,64		5,09	
—	10. 30 s.	5,6	18	5,97	6,47		4,95	
27 sept.	6. 45 s.	6,2	18	6,61	7,01	6,9	5,37	5,3
—	8. 30 s.	7,7	18	8,21	7,11		5,44	
—	10. 15 s.	5,8	18	6,19	6,69		5,11	
28 sept.	7. 0 s.	5,6	18	5,96	6,46	6,3	4,95	4,9
—	10. 0 s.	5,5	18	5,87	6,27		4,79	
29 sept.	6. 45 s.	4,9	18	5,22	5,72	5,7	4,37	4,3
—	8. 15 s.	6,8	18	7,25	5,75		4,40	
—	10. 30 s.	4,7	18	5,01	5,51		4,21	
30 sept.	7. 45 m.	4,9	18	5,22	6,02	5,9	4,60	4,5
—	9. 0 m.	5,9	18	6,30	6,30		4,81	
—	midi	5,0	18	5,33	5,83		4,45	
—	1. 15 s.	7,0	18	7,47	6,37		4,88	

NOMBRE d'inspirations par minute		VENTILATION par inspiration		CAPACITÉ THORACIQUE			OBSERVATIONS
par observation *h*	Moyenne de la journée *i*	à 36° *k*	à 0° et à 0,760 *l*	brute *m*	à 36° *n*	Moyenne de la journée	
Sujet : M. J. Vallot.							
12,0				3,07	3,27		Au repos.
11,6				3,08	3,28		15 min. après être monté de Chamonix.
15,3				3,18	3,39		Tout de suite après dîner.
11,1				2,87	3,07*		Aussitôt après avoir monté la côte, en venant de Chamonix.
11,1	11,7	0,573	0,437	3,15	3,35	3,37	En me levant.
10,6				3,22	3,43		Repos de 30 min. après déjeuner.
12,5				3,16	3,37		Après ma toilette.
11,6				3,12	3,32		Après développement de photographies.
12,7				3,17	3,38		
11,5				»	»		Travaux de laboratoire.
10,1	11,6	0,551	0,422	2,97	3,17	3,28	En me levant.
9,9				3,23	3,44		Au repos, 30 min. après déjeuner.
11,8				3,08	3,28		Après développement de photographies.
11,6				3,18	3,39		
11,7				3,05	3,25		Repos, après travail de laboratoire.
14,5				3,10	3,30		Après dîner.
11,8				2,95	3,15		Au repos.
10,4	11,0	0,628	0,482	3,03	3,23	3,21	Repos de 30 min. après être venu des Plans.
12,6				3,06	3,26		
10,1				2,95	3,15*		Au repos.
9,6	9,8	0,643	0,500	3,07	3,27	3,20	Rangement dans le laboratoire.
9,9				2,93	3,13		Au repos.
8,8	9,8	0,581	0,438	3,07	3,27	3,26	Rangement dans le laboratoire.
11,7				3,08	3,28		
8,9				3,03	3,23		Au repos.
8,6	9,6	0,614	0,480	3,03	3,23	3,27	En me levant.
9,3				3,15	3,35		Après déjeuner à 8 h. et toilette.
8,7				3,07	3,27		Repos de 30 min. après avoir fait les malles.
11,6				3,12	3,32		

DATE	HEURE	VENTILATION brute par minute *a*	TEMPÉRAT. approxim. *b*	VENTILATION à 36° par minute *c*	VENTILATION à 36°, corrigée — par observation *d*	VENTILATION à 36°, corrigée — Moyenne de la journée *e*	VENTILATION à 0° et à 0,760 — par observation *f*	VENTILATION à 0° et à 0,760 — Moyenne de la journée *g*
1898			Chamonix. — Pression 0,67					
30 sept.	4. 0 s.	5,7	18	6,08	5,68		4,34	
—	5. 0 s.	5,4	18	5,75	5,65		4,32	
—	6. 0 s.	5,2	18	5,54	5,54		4,24	
—	7. 0 s.	5,0	18	5,33	5,83		4,45	
—	8. 0 s.	7,6	18	8,11	6,21		4,75	
—	10. 15 s.	5,1	18	5,44	5,94		4,54	
1er oct.	7. 45 m.	5,5	18	5,87	6,67	6,4	5,10	4,9
—	6. 30 s.	5,7	18	6,08	6,28		4,79	
2 oct.	11. 30 m.	5,2	18	5,54	6,04	6,2	4,63	4,7
—	6. 45 s.	5,6	18	5,96	6,28		4,75	
3 oct.	11. 45 m.	5,4	18	5,75	6,25	6,3	4,77	4,8
1899			Paris. — Pression 0,755					
19 mai	6. 0 m.	6,0	18	6,40	7,10	7,1	6,11	6,1
—	8. 30 m.	5,8	18	6,19	6,89		5,94	
—	9. 45 m.	6,7	18	7,14	7,24		6,25	
—	midi 15	6,5	18	6,93	6,73		5,81	
—	1. 15 s.	7,6	18	8,11	6,71		5,78	
—	5. 0 s.	6,7	18	7,14	7,04		6,10	
—	6. 45 s.	6,4	18	6,82	7,32		6,32	
—	8. 0 s.	8,8	18	9,36	7,46		6,45	
—	10. 30 s.	6,7	18	7,14	7,54		6,52	
11 juin	8. 15 m.	6,3	18	6,72	7,72	8,1	6,77	7,0
—	9. 0 m.	7,5	18	8,00	8,30		7,18	
—	midi	8,5	18					
—	1. 30 s.	9,2	18	9,80	8,40		7,27	
—	4. 45 s.	7,8	18	8,31	8,21		7,10	
—	6. 45 s.	8,1	18	8,63	8,43		7,30	
—	8. 15 s.	8,7	18	9,26	7,86		6,81	
—	10. 15 s.	7,0	18	7,56	7,86		6,81	
19 juin	8. 45 m.	6,6	18	7,04	7,54	7,1	6,52	6,1

NOMBRE d'inspirations par minute		VENTILATION par inspiration		CAPACITÉ THORACIQUE			OBSERVATIONS
par observation *h*	Moyenne de la journée *i*	à 36° *k*	à 0° et à 0,760 *l*	brute *m*	à 36° *n*	Moyenne de la journée	
			Sujet : M. J. Vallot.				
9,9				3,07	3,27		Repos de 1 h. après emballage.
8,9				3, 1	3,21		Au repos.
9,4				3,05	3,25		Au repos.
8,4				3,07	3,27		Au repos.
12,4				3,09	3,29		Après dîner à 7 h. 30.
9,2				3,03	3,23		Au repos.
8,8	10,0	0,640	0,490	3,05	3,25	3,24	En me levant.
11,3				3,03	3,23		Au repos, après déménagement.
9,6	10,0	0,620	0,470	»	»	»	Au repos (migraine).
10,4				»	»		Repos de 45 min. après déménagement.
9,5	9,5	0,662	0,505	»	»	»	Repos de 30 min. après avoir fait les malles.
			Sujet : M. J. Vallot.				
12,6	13,0	0,546	0,469	3,22	3,43	3,42	En me levant.
12,5				3,25	3,46		Au repos dans le laboratoire.
13,9				3,25	3,46		Au repos après déjeuner.
12,3				3,20	3,41		Après ma toilette.
14,3				3,18	3,39		Après déjeuner.
11,9				3,20	3,41		Au repos dans le laboratoire.
12,7				3,18	3,39		Idem.
13,9				3,12	3,32		Immédiatement ap. dîner.
12,0				3,23	3,44		Au repos dans le laboratoire.
12,6	13,6	0,594	0,514	3,17	3,39	3,36	En me levant.
12,6				3,23	3,47		Après déjeuner.
13,6				3,16	3,37		Au repos, dans le laboratoire.
14,4				3,10	3,30		Après déjeuner. Je me sens oppressé.
13,6				3,10	3,30		Au repos.
14,1				3,17	3,38		Au repos.
14,8				3,17	3,38		Après dîner. Je me sens oppressé.
12,9				3,13	3,33		Au repos. Plus d'oppression
11,5	12,6	0,563	0,484	3,20	3,41	3,37	Au repos, avant déjeûner.

DATE	HEURE	VENTILATION brute par minute a	TEMPÉRAT. approxim. b	VENTILATION à 36° par minute c	VENTILATION à 36°, corrigée par observation d	Moyenne de la journée e	VENTILATION à 0° et à 0,760 par observation f	Moyenne de la journée g
1899			Paris. — Pression 0,755					
19 juin	11. 45 m.	6,5	18	6,93	7,13		6,16	
—	1. 30 s.	8,2	18	8,73	7,33		6,34	
—	7. 15 s.	7,0	18	7,56	7,06		6,09	
—	8. 30 s.	7,2	18	7,67	6,27		5,42	
—	11. 0 s.	6,4	18	6,82	7,12		6,15	
1899			Chamonix. — Pression 0,67					
5 août	11. 30 m.	7,0	18	7,56	8,06	7,2	6,16	5,7
—	5. 15 s.	6,9	18	7,36	7,26		5,55	
—	6. 15 s.	6,5	18	6,93	7,03		5,39	
1899			Mont-Blanc. — Pression 0,45					
14 août	7. 30 s.	5,7	12	6,20	6,00	6,0*	3,07	3,1*
15 août	6. 15 s	6,7	12	7,30	7,60	7,6	3,89	3,9
16 août	6. 45 s.	7,4	12	8,05	8,65	8,7	4,44	4,4
17 août	5. 0 s.	6,6	12	7,19	7,69	7,7	4,00	4,0
19 août	6. 0 s.	6,6	12	7,19	7,39	7,4	3,78	3,8
20 août	8. 45 m.	6,5	8	7,18	7,78	7,7	3,99	4,0
—	5. 30 s.	6,8	12	7,40	7,70		4,00	
22 août	7. 30 s.	7,2	12	7,84	8,54	8,5	4,40	4,4
23 août	7. 45 s.	7,2	12	7,84	8,54	8,5	4,40	4,4
24 août	7. 0 s.	7,7	12	8,39	9,09	9,1	4,65	4,7
1899			Chamonix. — Pression 0,67					
26 août	6. 15 s.	6,8	18	7,25	7,35	7,4	5,62	5,6
27 août	5. 0 s.	6,7	18	7,14	7,04	7,0	5,39	5,4
19 sept.	6. 15 s.	6,2	18	6,61	6,71	6,7	5,13	5,1
1900			Chamonix. — Pression 0,67					
9 août	7. 0 s.	6,2	18	6,61	7,11	7,1	5,44	5,4
10 août	6. 45 s.	5,6	18	5,96	6,36	6,4	4,87	4,9

NOMBRE d'inspirations par minute		VENTILATION par inspiration		CAPACITÉ THORACIQUE			OBSERVATIONS
par observation *h*	Moyenne de la journée *i*	à 36° *k*	à 0° et à 0,760 *l*	brute *m*	à 36° *n*	Moyenne de la journée	
			Sujet : M. J. Vallot.				
12,4				3,18	3,39		Au repos.
12,6				3,13	3,33		Après déjeuner.
12,7				3,20	3,41		Au repos, après antipyrine.
14,0				3,07	3,27		Au repos, après dîner.
12,1				3,18	3,39		Au repos.
			Sujet : M. J. Vallot.				
12,5	12,3	0,585	0,463	3,15	3,35	3,32	Laboratoire.
12,0				3,07	3,27		Laboratoire.
12,4				3,13	3,33		Laboratoire. Préparatifs.
			Sujet : M. J. Vallot.				
12,9	12,9	0,465*	0,240	2,77	3,02	3,02	Arrivé à 1 h. 30. Tranquille. Un peu après mal de montagne et soupe.
12,6	12,6	0,602	0,310	2,90	3,15	3,15	Laboratoire.
14,1	14,1	0,616	0,312	2,83	3,08	3,08	Laboratoire. Actif après travail manuel.
13,4	13,4	0,574	0,298	2,85	3,10	3,10	Au repos.
13,1	13,1	0,564	0,290	2,87	3,12	3,12	Au repos, après laboratoire
13,4	13,7	0,561	0,292	2,82	3,11	3,08	Laboratoire. Essoufflé. Je l'étais déjà à 6 h. 30 dans les mouvements.
13,9				2,80	3,05		Laboratoire. Actif.
15,0	15,0	0,566	0,293	2,88	3,13	3,13	Après ascension au Mont Blanc, retour à 5 h. 30 en courant. Avant dîner.
13,7	13,7	0,620	0,321	2,77	3,02	3,02	30 min. après être descendu du Mont Blanc en 31 min. !
14,4	14,4	0,624	0,327	2,88	3,13	3,13	Laboratoire.
			Sujet : M. J. Vallot.				
11,4	11,4	0,649	0,491	3,23	3,44	3,44	Au repos.
11,6	11,6	0,603	0,466	3,27	3,48	3,48	
11,9	11,9	0,563	0,428	3,13	3,33	3,33	Au repos, après avoir préparé les bagages.
			Sujet : M. J. Vallot.				
12,7	12,7	0,559	0,424	3,10	3,30	3,30	
13,0	13,0	0,492	0,377	3,12	3,32	3,32	

DATE	HEURE	VENTILATION brute par minute *a*	TEMPÉRAT. approxim. *b*	VENTILATION à 36° par minute *c*	VENTILATION à 36°, corrigée		VENTILATION à 0° et à 0,760	
					par observation *d*	Moyenne de la journée *e*	par observation *f*	Moyenne de la journée *g*
1900			Mont Blanc. — Pression 0,45					
15 août	6. 0 s.	7,5	12	8,16	8,36	8,4	4,28	4,3
16 août	5. 45 s.	6,9	12	7,51	7,81	7,8	4,00	4,0
17 août	6. 0 s.	6,4	12	6,96	7,16	7,2	3,67	3,7
18 août	5. 30 s.	7,1	12	7,73	8,03	8,0	4,11	4,1
20 août	5. 45 s.	7,0	12	7,62	7,92	7,9	4,05	4,1
21 août	5. 30 s.	7,9	12	8,60	8,90	8,9	4,56	4,6
22 août	6. 0 s.	7,8	12	8,50	8,70	8,7	4,45	4,5
23 août	6. 45 s.	7,0	12	7,62	8,22	8,2	4,22	4,2
25 août	6. 0 s.	7,7	12	8,39	8,59	8,6	4,40	4,4
26 août	6. 30 s.	7,5	12	8,16	8,66	8,7	4,14	4,4
29 août	7. 15 s.	6,8	12	7,40	8,10	8,1	4,18	4,2
1900			Chamonix. — Pression 0,67					
31 août	6. 45 s.	6,2	18	6,61	7,01	7,0	5,37	5,4
1er sept.	7. 30 s.	5,7	18	6,08	6,38	6,4	4,88	4,9
3 sept.	6. 15 s.	6,4	18	6,82	6,92	6,9	5,30	5,3
1899			Chamonix. — Pression 0,67					
12 août	7. 0 s.	(9,0)*	18	9,6*	10,10*	10,1*	7,75*	7,8*
1899			Mont Blanc. — Pression 0,45					
15 août	6. 30 s.	8,7	12	9,49	9,99	10,0	5,11	5,1
16 août	7. 0 s.	9,2	12	10,03	10,73	10,7	5,49	5,5
17 août	4. 45 s.	9,7	12	10,57	10,87	10,9	5,57	5,6
19 août	5. 45 s.	11,3	12	12,32	12,62	12,6	6,48	6,5
22 août	7. 45 s	11,6	12	12,64	13,34	13,3	6,82	6,8
24 août	6. 15 s.	13,3	12	14,50	14,80	14,8	7,59	7,6

NOMBRE d'inspirations par minute		VENTILATION par inspiration		CAPACITÉ THORACIQUE			OBSERVATIONS
par observation *h*	Moyenne de la journée *i*	à 36° *k*	à 0° et à 0,760 *l*	brute *m*	à 36° *n*	Moyenne de la journée	
				Sujet : M. J. Vallot.			
13,7	13,7	0,612	0,314	2,83	3,08	3,08	Arrivé à 10 h. 30 matin. Mal de montagne.
13,8	13,8	0,564	0,290	2,87	3,12	3,12	Encore un peu de mal montagne (céphalalgie légère).
12,0	12,0	0,600	0,308	2,87	3,12	3,12	Bien portant.
13,1	13,1	0,610	0,313	2,88	3,13	3,13	Bien portant. Beaucoup sorti dans la journée pour les expériences.
12,6	12,6	0,627	0,326	2,87	3,12	3,12	Céphalalgie, par suite de trop de mouvement le matin.
12,5	12,5	0,711	0,368	2,90	3,15	3,15	Bien portant.
12,5	12,5	0,696	0,360	2,83	3,08	3,08	Bien portant.
13,0	13,0	0,630	0,323	2,87	3,12	3,12	Céphalalgie après avoir respiré CO^2.
13,3	13,3	0,646	0,330	3,00	3,26	3,26	Après céphalalgie. Je suis bien portant, mais enrhumé.
14,2	14,2	0,612	0,309	2,87	3,12	3,12	Un peu de mal de montagne.
13,5	13,5	0,600	0,311	2,88	3,13	3,13	Après avoir fait du cinématographe. Enrhumé.
				Sujet : M. J. Vallot.			
12,7	12,7	0,551	0,424	3,12	3,32	3,32	Au repos.
12,2	12,2	0,524	0,402	3,15	3,35	3,35	Au repos, avant dîner.
11,5	11,5	0,600	0,460	3,10	3,30	3,30	Dans le laboratoire, après salicylate.
				Sujet : M. de Goumoëns.			
(13,0)*	13,0*	0,778*	0,597*	(2,57)*	2,74*	2,74*	A rejeter. Le sujet manque d'habitude.
				Sujet : M. de Goumoëns.			
10,6	10,6	0,944	0,482	2,53	2,76	2,76	Laboratoire. Actif.
9,9	9,9	1,080	0,556	2,47	2,69	2,69	Laboratoire. Actif.
12,2	12,2	0,893	0,459	2,55	2,78	2,78	Au repos.
12,2	12,2	1,032	0,533	2,90	3,15	3,15	Après mouvement.
12,8	12,8	1,038	0,531	2,80	3,05	3,05	Après retour du Mont-Blanc en courant à 5 h. 30. Avant dîner.
13,2	13,2	1,122	0,576	»	»	»	Actif. Ensuite, repos assez long. Très enrhumé.

DATE	HEURE	VENTILATION brute par minute *a*	TEMPÉRAT. approxim. *b*	VENTILATION à 36° par minute *c*	VENTILATION à 36°, corrigée: par observation *d*	VENTILATION à 36°, corrigée: Moyenne de la journée *e*	VENTILATION à 0° et à 0,760: par observation *f*	VENTILATION à 0° et à 0,760: Moyenne de la journée *g*
1899				Chamonix. — Pression 0,67				
26 août	6. 45 s.	12,0	18	12,80	13,20	13,2	10,06	10,1
27 août	9. 30 s.	12,4	18	13,20	13,20	13,2	10,06	10,1
1899				Saint-Fortunat.				
9 nov.	11. 0 m.	9,9	18	10,54	11,04	11,6	9,45	9,9
—	6. 0 s.	11,4	18	12,13	12,18		10,38	
10 nov.	4. 30 s.	10,0	18	10,66	10,36	10,4	8,84	8,8
1900				Chamonix. — Pression 0,67				
9 août	6. 15 s.	9,3	18	9,9	10,00	10,0	7,66	7,7
10 août	6. 0 s.	9,0	18	9,6	9,60	9,6	7,36	7,4
11 août	6. 0 s.	8,7	18	9,26	9,26	9,3	7,10	7,1
1900				Mont Blanc. — Pression 0,45				
15 août	6. 30 s.	8,0	12	8,72	9,22	9,2	4,73	4,7
16 août	5. 30 s.	9,3	12	10,13	10,43	10,4	5,34	5,3
17 août	5. 45 s.	10,3	12	11,22	11,52	11,5	5,90	5,9
18 août	6. 0 s.	10,3	12	11,22	11,42	11,4	5,85	5,9
20 août	5. 15 s.	10,8	12	11,77	12,17	11,5	6,22	5,9
21 août	5. 0 s.	9,5*	12	10,35*	10,85*	10,9*	5,26*	5,6*
22 août	5. 45 s.	9,8	12	10,68	10,98	11,0	5,61	5,6
23 août	6. 30 s.	11,5	12	12,54	13,04	13,0	6,67	6,7
25 août	5. 45 s.	11,6	12	12,64	12,94	12,9	6,62	6,6
26 août	6. 0 s.	11,5	12	12,54	12,74	12,7	6,52	6,5
29 août	7. 0 s.	11,2	12	12,20	12,90	12,9	6,61	6,6
1900				Chamonix. — Pression 0,67				
31 août	6. 15 s.	10,3	18	10,97	11,07	11,1	8,48	8,5
1er sept.	9. 30 m.	11,0	18	11,72	11,92	11,9	9,13	9,1

NOMBRE d'inspirations par minute		VENTILATION par inspiration		CAPACITÉ THORACIQUE			OBSERVATIONS
par observation *h*	Moyenne de la journée *i*	à 36° *k*	à 0° et à 0,760 *l*	brute *m*	à 36° *n*	Moyenne de la journée	
			Sujet : M. de Goumoëns.				
12,5	12,5	1,056	0,809	3,15	3,35	3,35	Au repos. Très enrhumé.
12,8	12,8	1,032	0,790	3,12	3,32	3,32	Très enrhumé.
			Sujet : M. de Goumoëns.				
14,9	14,9	0,799	0,682	3,20	3,41	3,55	Repos et mouvement après promenade.
14,0	14,0			3,45	3,68		Repos après promenade en voiture.
15,2	15,2	0,685	0,580	3,30	3,52	3,52	Repos après promenade en voiture.
			Sujet : M. de Goumoëns.				
14,1	14,1	0,740	0,542	3,13	3,33	3,33	Journée de repos.
15,1	15,1	0,634	0,489	3,15	3,35	3,35	Après course au Brévent dans la journée.
14,9	14,9	0,624	0,476	3,10	3,30	3,30	Journée de repos.
			Sujet : M. de Goumoëns.				
14,4	14,4	0,639	0,326	2,87	3,13	3,13	Arrivé à 10 h. 30. Bien portant.
14,0	14,0	0,743	0,378	2,97	3,24	3,24	Céphalalgie le matin. Très bien maintenant.
14,3	14,3	0,804	0,413	2,93	3,18	3,18	Bien portant.
15,3	15,3	0,745	0,386	2,93	3,18	3,18	Bien portant le matin, puis céphalalgie (antipyrine).
15,1	15,1	0,762	0,391	2,95	3,20	3,20	
15,4*	15,4*	0,709*	0,364*	2,63*	2,87*	2,87*	Bien portant. Observation faite sur un siège trop bas. A rejeter.
16,5	16,5	0,667	0,840	2,85	3,10	3,10	Bien portant.
16,3	16,3	0,796	0,411	3,00	3,27	3,27	Idem.
16,2	16,2	0,786	0,407	2,80	3,05	3,05	Idem.
15,6	15,6	0,814	0,417	2,90	3,15	3,15	Idem.
15,8	15,8	0,818	0,418	2,85	3,10	3,10	Monté au Mont Blanc le matin. Marché pour cinématographe l'après-midi.
			Sujet : M. de Goumoëns.				
15,6	15,6	0,711	0,544	2,70*	2,87*	2,87*	Après marche. Essoufflé. Enrhumé.
15,8	15,6	0,753	0,576	3,10	3,30	3,30	Vient du village.

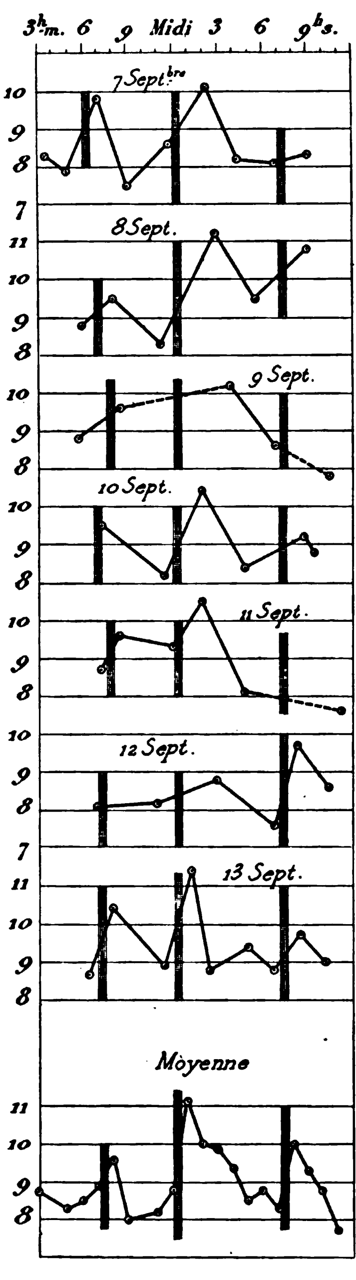


Fig. 1. — Mont Blanc.

6h m. 9 Midi 3 6 9h s.
15 Sept
16 Sept
17 Sept
18 Sept
19 Sept
20 Sept
30 Sept
Moyenne

Fig. 2. — Chamonix.

Variation diurne de la ventilation, chez M. Vallot. Litres d'air inspirés par minute, ramenés à 36° et à la pression du lieu.

Si l'on fait la moyenne des diverses observations de chaque journée, on s'aperçoit que cette moyenne varie d'un jour à l'autre, toutes les observations d'un jour étant plus hautes ou plus basses que celles de la veille. Si l'on avait les sept observations pour chaque heure, cela n'aurait aucun inconvénient, mais il se trouve, par suite de l'irrégularité des heures d'observations, que certaines heures ne sont représentées que par un petit nombre d'observations, et que celles-ci appartiennent tantôt aux jours où la ventilation était grande, tantôt à ceux où elle était petite. Si l'on employait les observations brutes, il s'ensuivrait dans la moyenne une irrégularité qui ne serait pas tolérable, si l'on ne faisait pas une correction capable de l'atténuer.

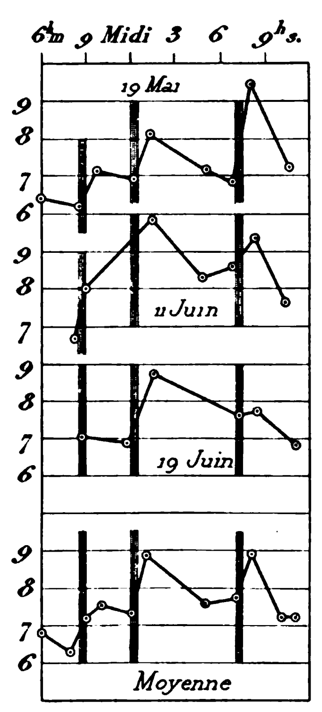


FIG. 3. — Var. diurne de la ventil. à Paris chez M. VALLOT. Lit. d'air insp. par min., à 36° et à la press. du lieu.

Pour effectuer cette correction, on a cherché, sur les graphiques, la valeur moyenne *m* de la ventilation pour chaque journée, puis on a calculé la moyenne M des moyennes *m*. Si, pour chaque journée, les observations des diverses heures subissent une correction ramenant *m* à être égal à M, la variation d'un jour à l'autre sera supprimée, et les moyennes horaires pourront être calcu-

MONT BLANC		CHAMONIX		PARIS	
DATE	CORRECTION	DATE	CORRECTION	DATE	CORRECTION
7 septembre	+ 0,5	15 septembre	— 0,3	19 mai	+ 0,4
8 —	— 0,5	16 —	— 0,3	11 juin	— 0,8
9 —	— 0,1	17 —	— 0,5	19 —	+ 0,4
10 —	— 0,1	18 —	— 0,1		
11 —	+ 0,1	19 —	— 0,1		
12 —	+ 0,3	20 —	+ 0,3		
13 —	— 0,3	30 —	+ 0,5		

6. — Correction applicable à chaque journée pour l'étude de la variat. diurne de la ventilation.

lées indépendamment de leur nombre chaque jour. Les corrections du tableau 6 ont été calculées ainsi et appliquées aux diverses journées.

Ces corrections faites, la moyenne arithmétique des observations a été calculée pour chaque heure.

HEURE	MONT BLANC		CHAMONIX		PARIS	
	LITRES par minute	CORRECTION horaire	LITRES par minute	CORRECTION horaire	LITRES par minute	CORRECTION horaire
6	8,5	+ 0,5	*(5,5)	+ 1,2	6,8	+ 0,7
7	8,9	+ 0,1	5,5	+ 1,2	»	»
8	9,6	— 0,6	6,0	+ 0,7	6,3	+ 1,2
9	8,0	+ 1,0	6,7	0,0	7,2	+ 0,3
10	(8,1)*	+ 0,9	6,3	+ 0,4	7,5	0,0
11	8,2	+ 0,8	(6,2)	+ 0,5	»	»
Midi	8,8	+ 0,2	6,2	+ 0,5	7,3	+ 0,2
1	11,1	— 2,1	8,0	— 1,3	8,9	— 1,4
2	10,0	— 1,0	7,4	— 0,7	»	»
3	9,9	— 0,9	(7,2)	— 0,5	»	»
4	9,4	— 0,4	7,1	— 0,4	»	»
5	8,5	+ 0,5	6,8	— 0,1	7,6	— 0,1
6	8,8	+ 0,2	6,7	0,0	»	»
7	8,3	+ 0,7	6,2	+ 0,5	7,7	— 0,2
8	10,0	— 1,0	8,6	— 1,9	8,9	— 1,4
9	9,3	— 0,3	7,1	— 0,4	»	»
10	8,8	+ 0,2	6,3	+ 0,4	7,2	+ 0,3
11	7,7	+ 1,3	(6,1)	+ 0,6	7,2	+ 0,3
Minuit	»	»	5,9	+ 0,8	»	»
Moyenne	9,0		6,7		7,5	

7. — Variation diurne de la ventilation réelle chez M. Vallot, en litres par minute ramenés à 36°, et correction horaire qui en résulte.

Le tableau 7 et le graphique 4 donnent les moyennes obtenues par ces procédés pour le Mont Blanc, Chamonix et Paris.

Malgré le nombre restreint des expériences, les trois graphiques ont des physionomies tellement analogues, qu'on peut penser qu'ils donnent la marche du phénomène avec une approximation assez grande pour qu'on puisse en tirer les conclusions suivantes :

* Les chiffres entre parenthèses sont interpolés et ne concourent pas au calcul de la moyenne.



1° La variation diurne de la ventilation pulmonaire présente la même marche à toutes les altitudes, lorsque le régime alimentaire est le même.

2° Elle est produite et réglée par les repas, chaque repas produisant une augmentation considérable.

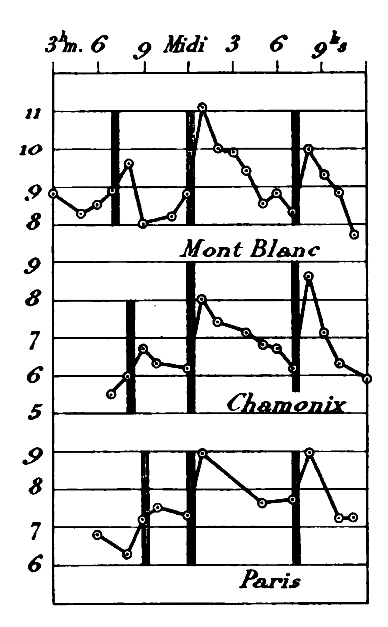


Fig. 4. — Moyenne de la variat. diurne réelle chez M. Vallot, en lit. par min. à 36° et à la pression du lieu.

3° L'amplitude de la variation diurne, chez moi, est d'environ un tiers de la ventilation maxima, soit une variation de 3 litres à peu près dans la journée.

VENTILATION RÉELLE OU TRAVAIL PHYSIQUE DU POUMON

Variation diurne. — La ventilation peut être étudiée à deux points de vue différents, qui seront examinés séparément :

1° On peut considérer le volume d'air qu'on respire, mesuré à la tempé-

rature et à la pression qu'il a réellement dans le poumon. C'est ce que j'appellerai la *ventilation réelle*.

2° On peut, d'autre part, étudier le poids de l'air inspiré ou, ce qui revient au même, son volume ramené par le calcul à 0 degré et à la pression de 0,760 m. C'est ce que j'appellerai *ventilation absolue*.

On considérera d'abord le premier point, qui a une grande importance physiologique, car le volume réel de l'air inspiré indique le *travail physique du poumon*.

Quel que soit le degré de concentration de l'air inspiré, le poumon accomplit un certain travail musculaire, qui doit être constant pour une même quantité, quelle que soit la pression ; il est important de savoir si la défense de l'organisme incite le poumon à suppléer à l'insuffisance d'oxygène par un travail plus grand, qui aurait pour résultat de procurer une oxygénation meilleure, mais qui pourrait en même temps causer un surcroît de fatigue capable de causer le mal de montagne.

Le tableau 5, colonne *c*, donne la ventilation pulmonaire ramenée à 36° pour toutes les expériences. Mais les chiffres obtenus ne peuvent pas être utilisés tels qu'ils sont, car ils ont été observés à des heures très différentes, et sont, par cela même, affectés d'une erreur systématique considérable, provenant, comme on l'a vu, de la variation diurne. Le tableau 7, donné plus haut, contient les corrections horaires qu'il faut faire subir aux chiffres pour les corriger de la variation diurne, et la colonne *d* (tableau 5) donne les chiffres corrigés de cette variation.

Il est bon à présent de se rendre compte des variations irrégulières qui se produisent encore au cours d'une journée, après qu'on a corrigé la variation systématique diurne. Le graphique 5 représente les expériences de l'année 1898, figurées par groupes d'une journée, sans tenir compte des intervalles horaires.

L'examen du graphique permet de tirer les conclusions suivantes :

1° La ventilation, après correction de la variation diurne, présente encore des variations irrégulières importantes au cours d'une même journée.

2° Ces variations sont faibles à Chamonix, où elles dépassent parfois chez moi 1 litre.

3° Elles sont beaucoup plus grandes au Mont Blanc, où elles dépassent parfois chez moi 2 litres.

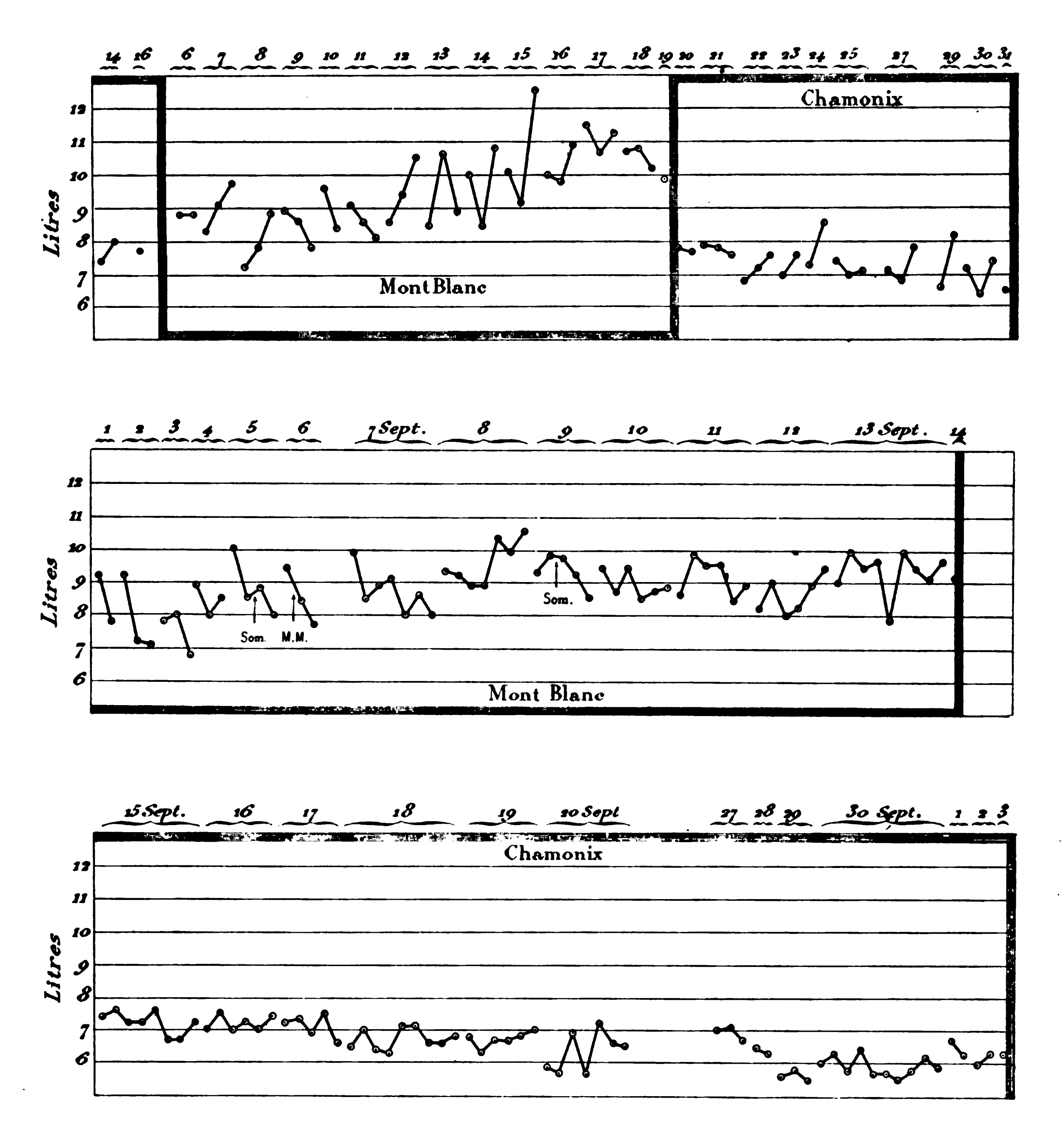


Fig. 5. — Variation de la ventilation réelle chez M. Vallot. Détail des observations de deux expéditions, après correction de la variation systématique diurne. Litres d'air inspirés, ramenés à 36° et à la pression du lieu.

Les causes de ces variations ne sont pas connues. La grande influence des repas sur la variation diurne me porte à les rapporter aux différences de régime alimentaire. A Chamonix, où la vie était mieux réglée et l'appétit régulier, les différences ne sont pas grandes. Les irrégularités sont, au contraire, beaucoup plus considérables au Mont Blanc, où les

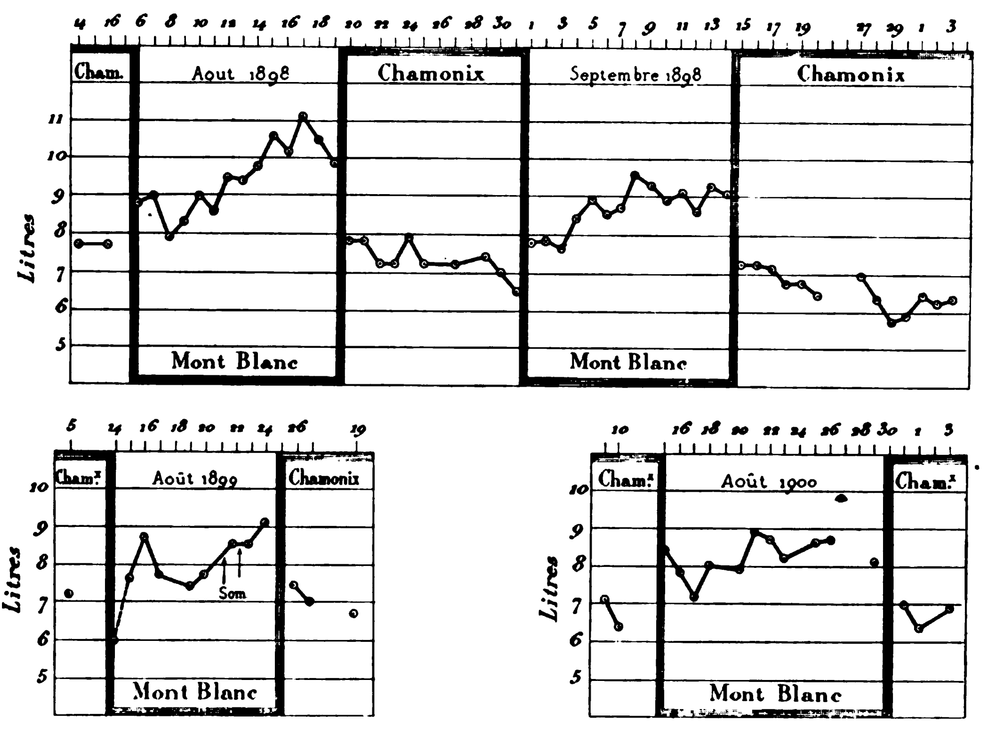


FIG. 6. — Moyenne, pour chaque journée, de la ventilation réelle, chez M. VALLOT. Litres d'air inspirés par minute, ramenés à 36° et à la pression du lieu.

heures des repas étaient plus irrégulières, et l'appétit tantôt bon, tantôt nul. En outre, dans le cas, assez fréquent, de déplacement des heures des repas, la correction horaire tombe en partie à faux et laisse subsister une partie de l'erreur provenant de la variation diurne. Cependant, dans le cas où le déplacement du repas a dépassé une heure, il en a été tenu compte, autant que possible, dans la correction.

La grande amplitude des variations irrégulières au Mont Blanc, jointe à d'autres observations analogues sur d'autres fonctions, montre que *l'organisme est dans une situation d'instabilité beaucoup plus grande dans les lieux élevés que dans les localités basses.*

Influence de l'altitude. — *Sujet entraîné*, M. Vallot. — Les variations systématiques et les variations irrégulières étant connues, il convient d'étudier l'influence de l'altitude. Pour cela, on a calculé la moyenne des expériences de chaque journée, et l'on a inscrit ces moyennes dans le tableau 5, colonne *e*, et sur le graphique 6.

Ce qui frappe tout d'abord, c'est que la ventilation réelle est constamment plus forte au Mont Blanc qu'à la station inférieure. Analysant le phénomène, on voit que la ventilation, après avoir augmenté plus ou moins au Mont Blanc, redescend immédiatement, à Chamonix, au taux où elle se trouvait avant l'ascension. Le fait se retrouve dans les quatre expéditions, indépendamment des variations ultérieures dont je m'occuperai plus tard. Il se produit donc toujours chez moi une différence notable dans la respiration, quand je séjourne à chacune des deux altitudes.

ANNÉE	STATION	LITRES par minute	DIFFÉRENCE en s'élevant	DIFFÉRENCE en descendant
1898	Chamonix	7,7		
—	Mont Blanc	9,5	+ 1,8	— 2,2
—	Chamonix	7,3		
—	Mont Blanc	8,7	+ 1,4	— 2,2
—	Chamonix	6,5		
1899	Chamonix	7,2	+ 0,7	
—	Mont Blanc	7,9		— 0,9
—	Chamonix	7,0		
1900	Chamonix	6,8	+ 1,4	
—	Mont Blanc	8,2		— 1,4
—	Chamonix	6,8		
	Moyenne		+ 1,3	— 1,7

8. — Ventilation réelle chez M. Vallot. Moyenne de chaque expédition. Lit. d'air inspirés par minute, ramenés à 36° et à la pression du lieu.

Pour se rendre compte de cette différence, on a calculé d'une part la moyenne générale de chaque expédition au Mont Blanc, d'autre part celle des déterminations qui ont été faites avant et après, à Chamonix. On a réuni ces moyennes dans le tableau 8, où l'on a inscrit aussi les différences de la ventilation aux deux stations.

On voit que, chaque fois que j'ai habité la station supérieure, la ventilation s'est trouvée plus grande, et est redevenue plus petite à la station inférieure. On peut en conclure que *l'augmentation de l'altitude provoque l'augmentation de la ventilation réelle*.

Le graphique 7 traduit le tableau 8 et montre à la fois les variations de la ventilation réelle et le rapport de l'intensité de ces variations avec leur grandeur. Tous ces éléments présentent des variations assez considérables, même à Chamonix où l'on voit la ventilation varier de 7,7 lit. à 6,5 lit., ce qui donne une différence de 1,2 lit. ou 1/6 pour la ventilation obtenue à la même station, à différentes époques. Au Mont Blanc, la ventilation a varié de 9,5 lit. à 7,9 lit., ce qui donne une différence de 1,6 lit., un peu plus grande, montrant encore l'instabilité physiologique plus grande à la station élevée.

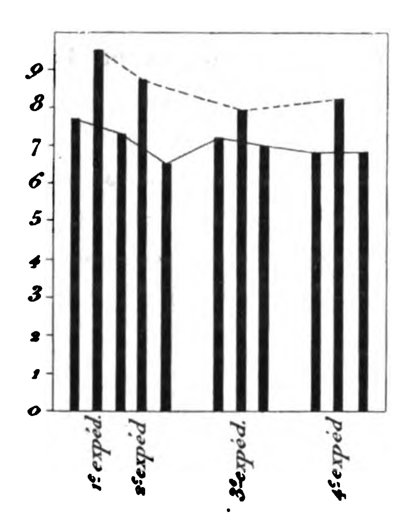


FIG. 7. — Ventil. réelle, chez M. VALLOT. Moy. de chaque expédition. Lit. insp. par min., à 36° et à la press. du lieu.

——— Chamonix — — — Mont Blanc

La moyenne de la ventilation a été de 7 lit. à Chamonix et de 8,6 lit. au Mont Blanc.

Les différences observées à chaque station font prévoir des inégalités dans l'augmentation de la ventilation à la station élevée, et l'on ne s'étonnera pas de voir varier cette augmentation de 0,7 lit. à 1,8 lit. La moyenne a été de 1,3 lit. Chose curieuse, la différence en descendant est presque toujours plus grande et s'est trouvée en moyenne de — 1,7 lit. ; je reviendrai plus loin sur ce fait.

Sujet non entraîné, M. DE GOUMOENS. — Les choses se sont passées tout à fait différemment chez M. de Goumoëns. La ventilation n'a pas augmenté tout d'un coup au Mont Blanc comme chez moi, ainsi qu'on peut le voir sur le graphique 8. Elle s'est d'abord montrée à peu près égale à ce qu'elle était à Chamonix, puis elle a augmenté très rapidement pendant le séjour au Mont Blanc. A la descente, il n'y a pas eu retour immédiat à la normale, comme chez moi, mais seulement diminution partielle de la ventila-

tion. Plus tard, l'inspiration revient à la normale, comme on le voit l'année suivante à Chamonix, mais, pendant les deux jours qui suivent la descente, la ventilation conserve une valeur très élevée. Il est fâcheux que le départ du sujet n'ait pas permis d'étudier le retour progressif à la normale.

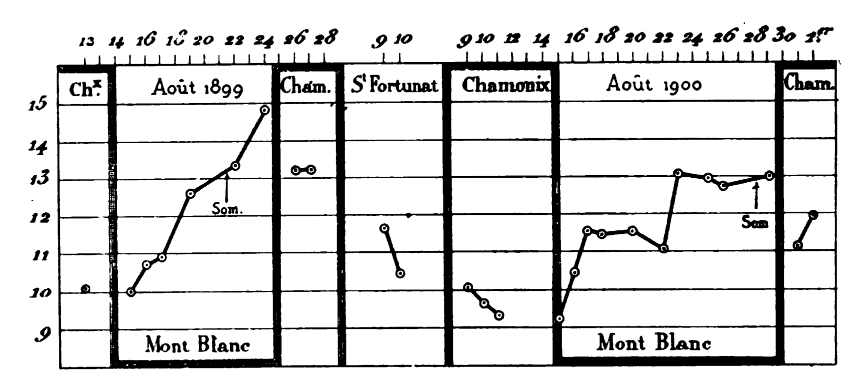


Fig. 8. — Moyenne, pour chaque journée, de la ventilation réelle, chez M. de Goumoens. Litres inspirés par minute, ramenés à 36° et à la pression du lieu.

Je dois dire que M. de Goumoëns avait un gros rhume à la fin du séjour de 1899 et au retour à Chamonix, mais la marche a été la même en 1900. La grande différence entre le 22 et le 23 août demeure inexpliquée, de même qu'un chiffre élevé à Saint-Fortunat. Comme je l'ai dit plus haut, il était difficile d'obtenir du sujet, avant l'expérience, le temps de repos qui aurait été nécessaire.

La marche du phénomène rend impossible la formation d'un tableau et d'un graphique semblables au tableau 8 et au graphique 7, parce que la moyenne de chiffres en ascension aussi rapide dépend trop de la longueur du séjour et est peu intéressante, et que, d'autre part, le départ du sujet nous prive des chiffres indiquant le retour à la normale à Chamonix.

Il semble résulter de la comparaison entre M. de Goumoëns et moi qu'un sujet peu entraîné ne transforme sa respiration que graduellement, soit à la montée, soit à la descente, tandis qu'*un sujet entraîné reprend en peu de temps ses habitudes à chaque station* et est devenu plus apte à s'acclimater rapidement à chaque expédition. Je ne donne ces conclusions qu'avec la plus grande réserve, puisqu'elles ne s'appuient que sur la comparaison de deux sujets; ce ne sont que des indications, dont les expériences ultérieures montreront la valeur.

Effet de l'acclimatement. — *Sujet entraîné*, M. Vallot. — Je vais à présent étudier l'effet de la continuité du séjour au Mont Blanc. On a réuni dans le tableau 9 les moyennes de chaque jour successif, depuis l'arrivée, pour chaque expédition, ainsi que la moyenne des quatre expéditions. Le détail des diverses expéditions est figuré sur le graphique 9. Les parties grisées figurent les deux journées d'ascension et la journée de descente, et les observations de part et d'autre de ces parties sont celles de Chamonix.

JOURS depuis l'arrivée	1898 AOUT	1898 SEPTEMBRE	1899	1900	MOYENNE
1	8,8	7,8	[6,0]**	8,4	8,3
2	9,0	7,8	7,6	7,8	8,1
3	7,9	7,6	8,7	7,2	7,9
4	8,3	8,4	7,7	8,0	8,1
5	9,0	8,9	»	»	»
6	8,6	8,5	7,4	7,9	8,1
7	9,5	8,7	7,7	8,9	8,7
8	9,4	9,6	(8,1)*	8,7	(9,0)*
9	9,8	9,3	8,5	8,2	9,0
10	10,6	8,9	8,5	(8,4)*	(9,1)
11	10,2	9,1	9,1	8,6	9,3
12	11,1	8,6	(9,1)	8,7	(9,4)
13	10,5	9,3	»	»	»
14	9,9	9,1	»	»	»
15	»	»	»	8,1	»

9. — Ventilation réelle chez M. Vallot. Moy. de chaque journée, depuis l'arrivée au Mont Blanc. Litres d'air inspirés par minute ramenés à 36° et à la pression du lieu.

Si l'on se reporte au graphique 6, et que l'on examine la marche de la ventilation, on remarquera qu'il se produit généralement, après l'augmentation brusque causée par l'ascension, une diminution dans les premiers jours, puis une augmentation sensiblement continue. Le 14 août fait exception, mais on a affaire ici à une détermination prise par un mal de montagne assez violent consécutif à l'ascension. Le point obtenu semble beaucoup trop bas et doit être rejeté. Les variations irrégulières, bien qu'assez

* Les chiffres entre parenthèses sont interpolés. Les moyennes entre parenthèses résultent de trois chiffres observés et un chiffre interpolé.

** Le chiffre entre crochets est rejeté et n'entre pas dans le calcul de la moyenne (voir la note de la page 17 en haut).

considérables, ne réussissent pas à masquer le phénomène, qui sera plus facilement mis en lumière en atténuant l'importance de ces variations par l'emploi d'un plus grand nombre d'observations. On remplira ce but en se servant des moyennes des quatre expéditions, qu'on peut voir représentées sur le graphique 9.

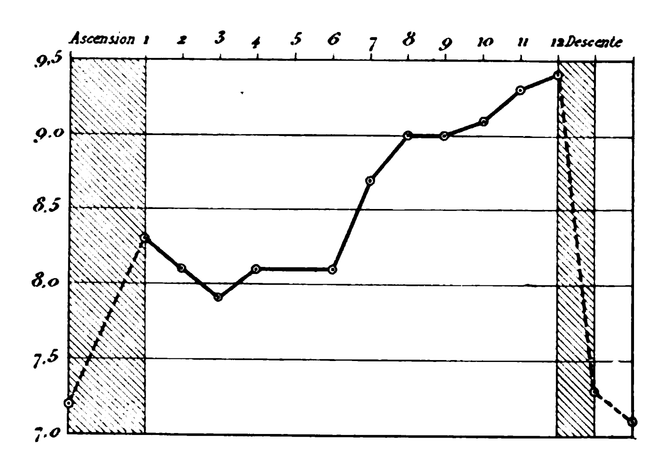


FIG. 9. — Ventil. réelle, chez M. VALLOT. Moy. des quatre expéd. pour chaque jour successif depuis l'arrivée au Mont Blanc. Lit. inspirés par min., à 36° et à la press. du lieu.

Ce graphique montre que la défense de l'organisme produit une augmentation immédiate de la ventilation, suivie d'une prostration, due sans doute au mal de montagne, qui produit une diminution pendant deux ou trois jours. Le repos permet ensuite à l'organisme de prendre des forces nouvelles, et la ventilation augmente de jour en jour, contribuant à produire l'acclimatement.

On peut rapprocher ce fait de celui que j'ai observé pour l'hémoglobine (1), qui diminue d'abord pendant le mal de montagne, pour augmenter ensuite et dépasser largement la normale.

Du tableau 9 on tirera le tableau 10, qui traduit en chiffres les parties principales du graphique 9 et indique la proportion de la variation à la variation normale.

On tire de ce tableau les conséquences suivantes :

1° Chez le sujet entraîné, le passage de l'altitude de Chamonix à celle du

(1) Sur les modifications que subit l'hémoglobine du sang sous l'influence de la dépression atmosphérique. *Comptes rendus Acad. des sciences*, 2 décembre 1901.

Mont Blanc produit une augmentation immédiate, qui atteint environ la moitié de l'augmentation totale.

	VENTILATION en litres par min.	VARIATION en litres	FRACTION de l'augmentation totale	FRACTION décimale de la ventilation normale
CHAMONIX, *avant le départ.*	7,2			
MONT BLANC, à l'arrivée.	8,3			
Effet rapide de l'ascension.		1,1	0,5	0,15
MONT BLANC, *deux jours plus tard.*	7,9			
Effet du mal de montagne (?)		— 0,4	— 0,2	— 0,06
MONT BLANC, *à la fin du séjour.*	9,4			
Effet graduel de l'acclimatement.		1,5	0,7	0,21
Augmentation totale.		2,2	1,0	0,30
CHAMONIX, *au retour.*	7,2			
Effet rapide de la descente.		— 2,2	— 1,0	— 0,30

10.— Ventilation réelle chez M. VALLOT. Effets de l'ascension, du séjour et de la descente. Litres d'air inspirés par minute, ramenés à 36° et à la pression du lieu.

2° La totalité de l'augmentation au Mont Blanc a été de 30 p. 100, soit environ un tiers, de la ventilation habituelle. Ce chiffre est considérable, et l'on comprend que ces modifications de la respiration puissent produire un résultat marqué en ce qui concerne l'acclimatement.

3° Le retour à la normale a été immédiat et complet à la descente.

JOURS	1898 Août	1898 Septembre	1899	1900	MOYENNE GÉNÉRALE
1, 2, 3,	8,6	7,7	8,2*	7,8	8,1
4, 5, 6,	8,6	8,6	7,6*	8,0*	8,2
7, 8, 9,	9,6	9,3	8,1*	8,6	8,9
10, 11, 12,	10,6	8,9	8,8*	8,7*	9,8
13, 14.	10,2*	9,2*	»		9,7*

11. — Ventilation réelle chez M. VALLOT. Moy. par trois jours successifs, au Mont Blanc. Litres d'air inspirés par minute, ramenés à 36° et à la pression du lieu.

Un autre procédé permettra de se rendre compte de la réalité de l'augmentation de la ventilation pendant les longs séjours, et montrera qu'il ne

* Moyenne d'après deux jours seulement.

s'agit pas d'un hasard de moyennes. Il consiste à prendre, pour chaque expédition, la moyenne des trois premiers jours, puis celle des trois jours suivants, et ainsi de suite. Ici, la diminution du troisième jour disparaîtra, mais on aura l'avantage de pouvoir comparer la variation dans chacune des expéditions. On trouvera ces moyennes dans le tableau 11 et sur le graphique 10.

Ce graphique montre que l'augmentation de la ventilation se produit dans chacune des expéditions, bien que son intensité et sa marche soient variables. La moyenne offre une assez grande régularité et sa forme fait supposer que l'augmentation continue à se produire au bout de quinze jours, et pourrait devenir plus considérable par un plus long séjour.

Il faut maintenant étudier ce qui se produit chez moi après la descente. Le graphique 6 fait voir que la ventilation descend immédiatement presque au taux normal, mais, chose curieuse, elle ne s'en tient pas là, et elle paraît ensuite descendre pendant quelque temps au-dessous de ce taux. Le tableau 12, qui donne le détail de la ventilation pendant les jours qui suivent l'arrivée, et le tableau 13 et le graphique 11, qui donnent la moyenne par trois jours successifs, permettent de se rendre compte de la réalité de la diminution. Celle-ci est faible, et l'on ne peut pas dire si le phénomène est général ; mais, en tout cas, il permet de mettre mieux en lumière l'augmentation qui se produit au Mont Blanc à la même époque.

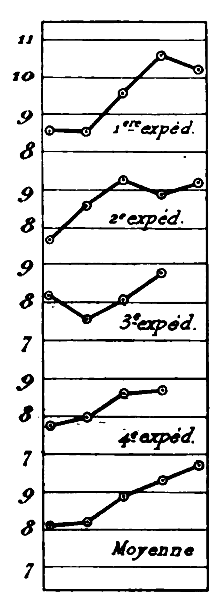


FIG. 10. — Ventil. réelle, chez M. VALLOT. Moy. par trois jours successifs, au Mont Blanc. Lit. d'air insp. par min., à 36° et à la press. du lieu.

Effet de la marche. — Il est intéressant de savoir si un exercice violent peut causer au Mont Blanc des variations durables dans la ventilation. On sait que la marche cause facilement la polypnée aux grandes altitudes, mais ce qu'il faut savoir, c'est si cette polypnée cesse rapidement ou si elle persiste encore après un court repos, d'une heure par exemple. Trois excursions ont été faites pendant le séjour à l'observatoire de septembre 1898, deux ascensions très rapides au sommet du Mont Blanc et une course au Mont Maudit. On retrouvera ces observations sur le graphique 5. Les expériences ont été faites dans les conditions suivantes :

5 septembre 1898, troisième point à cette date, sur le graphique 5.

JOURS depuis l'arrivée	1898 AOUT	1898 SEPTEMBRE	1899	1900	MOYENNE des deux premiers
1	7,8	7,2	7,4	7,0	7,5
2	7,8	7,2	7,0	6,4	7,5
3	7,2	7,1	»	»	7,2
4	7,2	6,7	»	6,9	7,0
5	7,9	6,7	»	»	7,3
6	7,2	6,4	»	»	6,8
7	»	»	»	»	»
8	7,2	»	»	»	»
9	»	»	»	»	»
10	7,4	»	»	»	»
11	7,0	»	»	»	»
12	6,5	»	»	»	»
13	»	6,9	»	»	»
14	»	6,3	»	»	»
15	»	5,7	»	»	»
16	»	5,9	»	»	»
17	»	6,4	»	»	»
18	»	6,2	»	»	»
19	»	6,3	6,9	»	»

12. — Ventilation réelle chez M. VALLOT. Moyenne de chaque journée depuis le retour à Chamonix. Lit. d'air inspirés par minute, à 36° et à la pression du lieu.

Observation faite après repos d'une heure, consécutif à une course très rapide au sommet du Mont Blanc.

JOURS	1898 août	1898 sept.	1899	1900
1, 2, 3,	7,6	7,2	7,2*	6,7*
4, 5, 6,	7,4	6,6	»	6,9**
7, 8, 9,	7,2**	»	»	»
10, 11, 12,	7,0	»	»	»
13, 14, 15,	»	6,3	»	»
16, 17, 18,	»	6,5	»	»
19.	»	6,3**	6,7**	»

13. — Ventilation réelle chez M. VALLOT. Moy. par trois jours successifs, à Chamonix, au retour. Litres d'air inspirés, à 36° et à la pression du lieu.

* Moyenne d'après deux jours seulement.

** Un seul jour.

6 septembre 1898, deuxième point. Observation faite après repos de trente minutes, consécutif à une course au Mont Maudit.

9 septembre 1898, troisième point. Observation faite après repos de 1 h. 30 et déjeuner, consécutif à une course au sommet du Mont Blanc.

Les observations faites dans ces conditions donnent des chiffres moyens, compris entre les autres sur le graphique et montrant ainsi qu'un repos assez court suffit pour faire disparaître la polypnée résultant de la marche dans les hautes régions, et qu'un exercice violent ne change plus sensiblement le régime physiologique de l'homme déjà acclimaté au Mont Blanc.

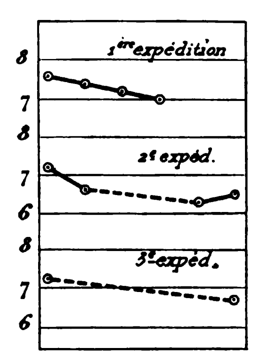


Fig. 11. — Ventil. réelle, chez M. Vallot. Moy. par trois jours successifs, au retour à Chamonix. Lit. d'air insp. par min., à 36° et à la press. du lieu.

L'expédition de 1899 fournit encore deux expériences analogues, bien que moins frappantes, parce qu'il n'en était fait qu'une seule dans chaque journée. On les trouvera sur le graphique 6.

22 août 1899. Observation faite après repos de deux heures, consécutif à une descente rapide du sommet du Mont Blanc.

23 août 1899. Observation faite après un repos de trente minutes, consécutif à une descente rapide du sommet du Mont Blanc.

Les chiffres obtenus sont égaux et se trouvent bien dans la moyenne entre ceux du 22 et du 24 août. Ils viennent renforcer les conclusions ci-dessus.

Les expériences sur M. de Goumoëns fournissent aussi deux observations, en 1899 et 1900, qu'on trouvera sur le graphique 8.

22 août 1899. Observation faite après repos de deux heures, consécutif à une descente rapide du sommet du Mont Blanc.

29 août 1900. Observation faite à 7 heures du soir, le sujet étant monté au sommet du Mont Blanc le matin et à la Grande Bosse l'après-midi.

Le graphique montre que l'ascension n'a causé aucune perturbation durable dans la fonction. Les conclusions sont les mêmes que ci-dessus.

Effet de l'acclimatement. — *Sujet non entraîné*, M. de Goumoens. — Le tableau 14 et les graphiques 8 et 12 montrent comment s'est conduit le sujet non entraîné. Il n'y a eu aucune augmentation immédiate

due à l'ascension, mais plutôt une légère diminution à l'arrivée du Mont

JOURS depuis L'ARRIVÉE	1899	1900	MOYENNE
1	(9,2)*	9,2	(9,2)*
2	10,0	10,4	10,2
3	10,7	11,5	11,1
4	10,9	11,4	11,2
5	»	»	»
6	12,6	11,5	12,1
7	(12,9)	(10,9)	»
8	(13,1)	11,0	(12,1)
9	13,3	13,0	13,1
10	»	»	»
11	14,8	12,9	13,9
12	»	12,7	»
13	»	»	»
14	»	»	»
15	»	12,9	»

14. — Ventilation réelle chez M. de Goumoens. Moy. de chaque journée depuis l'arrivée au Mont Blanc. Lit. d'air insp. par min. à 36° et à la pression du lieu.

Blanc. Puis a commencé une ascension continue, aussi rapide que considérable. A la descente, il n'y a pas eu retour immédiat à la normale,

	VENTILATION en litres par min.	VARIATION en litres	FRACTION de l'augmentation totale	FRACTION décimale de la ventilation normale
Chamonix, *avant le départ.*	9,9			
Mont Blanc, *à l'arrivée.*	9,2			
Effet de l'ascension.		— 0,7	— 0,18	— 0,07
Mont Blanc, *à la fin du séjour.*	13,9			
Effet graduel de l'acclimatement.		4,7	1,17	0,47
Augmentation totale au-dessus de la normale.		4,0	1,00	0,40
Chamonix, *à l'arrivée.*	12,4			
Effet rapide de la descente.		— 1,5	— 0,38	— 0,15

15. — Ventilation réelle chez M. de Goumoens. Effets de l'ascension, du séjour et de la descente. Lit. d'air inspirés par min., à 36° et à la pression du lieu.

* Les chiffres entre parenthèses sont interpolés. Les moyennes entre parenthèses résultent de trois chiffres observés et un interpolé.

comme chez moi, mais seulement diminution relative. Le retour complet s'est effectué en un temps malheureusement inconnu, puisque le sujet est parti le second jour.

Le tableau 15 traduit en chiffres le graphique 12 et indique la proportion de la variation à la ventilation.

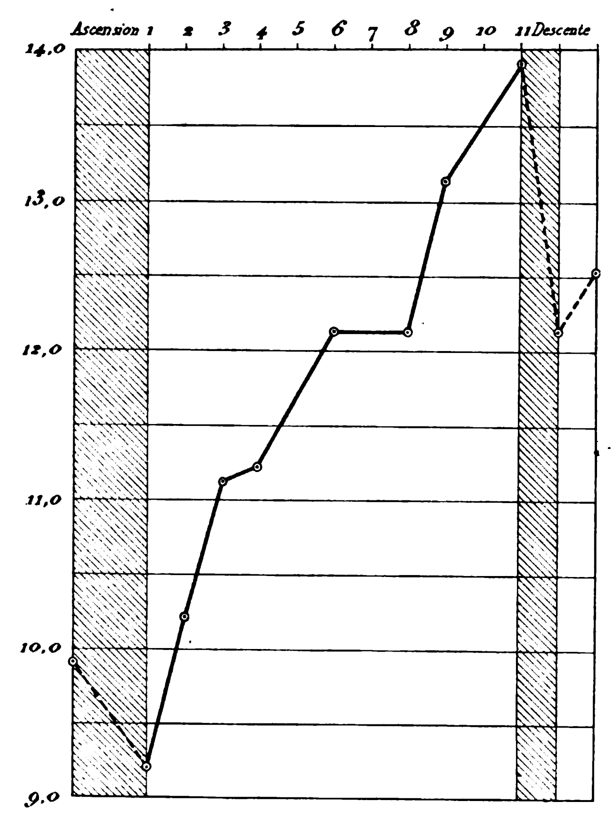


Fig. 12. — Ventilation réelle, chez M. de Goumoens. Moyenne des deux expéditions pour chaque jour successif depuis l'arrivée au Mont Blanc. Litres inspirés par minute, ramenés à 36° et à la pression du lieu.

On tire de ce tableau les conséquences suivantes :

1° Chez le sujet non entraîné, il n'y a eu aucune augmentation de ventilation pendant l'ascension, comme je l'ai dit.

2° La totalité de l'augmentation atteint la proportion de 0,45, soit la moitié de la ventilation habituelle, proportion encore plus considérable que celle d'un tiers observée sur moi.

3° A la descente, le ertour vers la normale n'a été immédiatement que

JOURS	1899	1900	MOYENNE générale
1, 2, 3.	10,4*	10,4	10,4*
4, 5, 6,	11,7*	11,4*	11,6*
7, 8, 9,	13,3**	12,0*	12,7**
10, 11, 12,	14,8**	12,8*	13,8**
13, 14, 15.	»	12,9**	»

16. — Ventilation réelle chez M. de Goumoens. Moy. par trois jours successifs, au Mont Blanc. Lit. d'air inspirés par min., à 36° et à la pression du lieu.

de 0,38, soit environ un tiers seulement de ce qui se produira en un temps plus ou moins long.

Le tableau 16 et le graphique 13 donnent les moyennes par trois jours pour chaque expédition. On voit la ventilation augmenter assez régulièrement dans chaque expédition, mais l'augmentation est bien plus forte que chez le sujet entraîné, comme il a été expliqué plus haut.

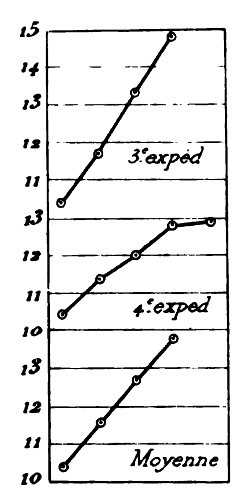


Fig. 13. — Ventil. réelle, chez M. de Goumoens. Moy. par trois jours successifs, au Mont Blanc. Lit. d'air insp. par min., à 36° et à la press. du lieu.

En résumé, l'ensemble des expériences faites sur les deux sujets montre qu'il se produit, lorsqu'on séjourne à l'altitude du Mont Blanc, une grande augmentation de la ventilation réelle. Cette augmentation ne se produit pas toujours de la même manière chez les différents sujets, mais elle s'est produite dans toutes les expéditions et chez les deux sujets, et elle a atteint le tiers et même la moitié de la ventilation normale.

Quant à ce qui se produit chez M. de Goumoëns après la descente, je n'ai pu, malheureusement, l'observer, le sujet ayant toujours quitté Chamonix le surlendemain de son retour du Mont Blanc.

* Moyenne d'après deux jours seulement.

** Un seul jour.

VENTILATION ABSOLUE, OU TRAVAIL CHIMIQUE DU POUMON

Influence de l'altitude. — *Sujet entraîné*, M. Vallot. — On considérera maintenant la ventilation absolue, c'est-à-dire la quantité d'air inspiré par minute, réduite à 0° et à la pression de 0,760 m. Cet élément est très important, car il indique la proportion absolue d'oxygène qui est mise en contact avec le poumon aux diverses altitudes. L'augmentation de la ventilation réelle étant constatée, il est intéressant de chercher dans quelle mesure cette augmentation peut compenser la diminution de la quantité d'oxygène inspiré, causée par la faible pression.

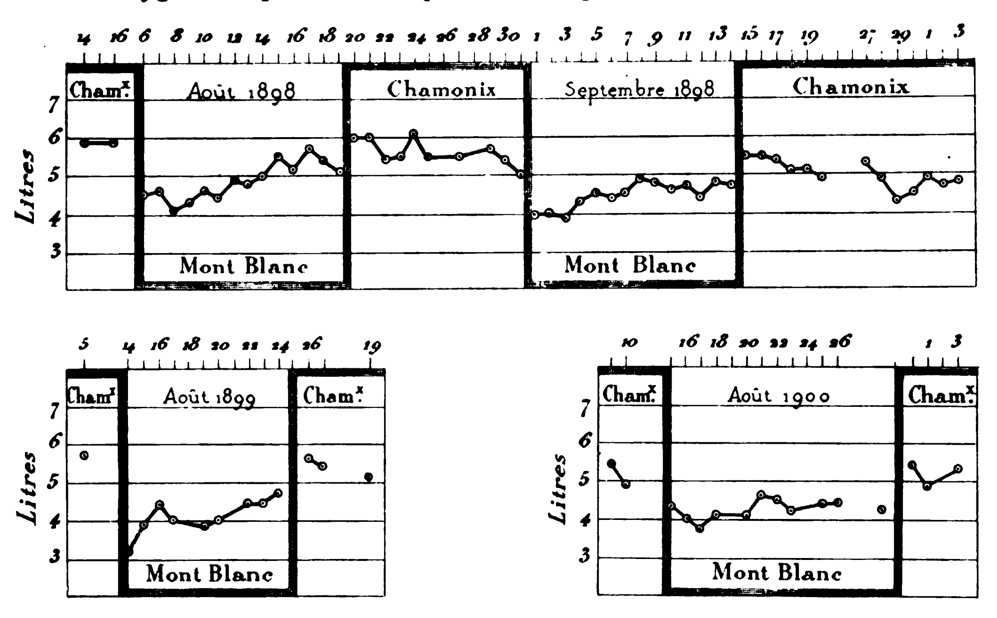


Fig. 14. — Moyenne, pour chaque journée, de la ventilation absolue, chez M. Vallot. Litres d'air inspirés par minute, à 0° et à 0,760 m.

Pour l'étude de la ventilation absolue, la marche sera la même que pour l'étude de la ventilation réelle. Le tableau 5, colonne *f*, donne la ventilation pulmonaire ramenée à 0° et à 0,760 m. pour toutes les expériences, après la correction horaire. L'étude détaillée de ces chiffres est inutile, après l'étude de ceux de la ventilation réelle ; il suffira d'étudier les moyennes diurnes, qu'on trouvera sur le tableau 5, colonne *g*, et sur le graphique 14.

Le graphique 14 est essentiellement différent du graphique 6, car il montre d'abord une diminution de la ventilation absolue, causée par la diminution de la pression atmosphérique, et ensuite une augmentation continue pendant le séjour au Mont Blanc, causée par l'acclimatement. Pour se rendre compte de l'intensité de la diminution au Mont Blanc, on a calculé la moyenne générale de chaque expédition au Mont Blanc et des déterminations qui ont été faites avant et après à Chamonix. On a réuni ces moyennes dans le tableau 17, avec les différences de la ventilation absolue aux deux stations.

ANNÉE	STATION	LITRES par minute	DIFFÉRENCE en s'élevant	DIFFÉRENCE en descendant
1898	Chamonix	5,9	— 1,0	
—	Mont Blanc	4,9		+ 0,7
—	Chamonix	5,6		
—	Mont Blanc	4,5	— 1,1	
—	Chamonix	5,0		+ 0,5
1899	Chamonix	5,7	— 1,6	
—	Mont Blanc	4,1		+ 1,3
—	Chamonix	5,4		
1900	Chamonix	5,2	— 1,0	
—	Mont Blanc	4,2		+ 1,0
—	Chamonix	5,2		
	Moyenne		— 1,2	+ 0,9

17. — Ventilation absolue chez M. Vallot. Moyenne de chacune des expéditions. Litres d'air inspirés par minute, à 0° et à 0,760 m.

On voit que, chaque fois que j'ai habité la station supérieure, la ventilation absolue a diminué, pour augmenter ensuite au retour, à la station inférieure. Ce retour à la normale s'effectue chez moi brusquement, comme pour la ventilation réelle. On peut en conclure que, malgré l'augmentation de la ventilation réelle, *l'augmentation de l'altitude cause une diminution de la ventilation absolue.*

Ainsi la défense de l'organisme cherche bien à compenser la diminution de l'oxygène respiré par une augmentation de la ventilation *réelle*, mais

cette augmentation est encore trop faible et ne réussit pas à compenser complètement la diminution de pression.

Le graphique 15 traduit le tableau 17 et montre à la fois les variations de la ventilation absolue et le rapport de ces variations avec la grandeur de la variation. Tous ces éléments présentent des variations assez considérables, même à Chamonix, où l'on voit la ventilation absolue varier de 5,9 lit. à 5 lit., ce qui donne une différence de 0,9 lit., pour la ventilation obtenue à la même station à différentes époques. Au Mont Blanc, la ventilation a varié de 4,9 lit. à 4,1 lit., ce qui donne une différence de 0,8 lit. à peu près égale.

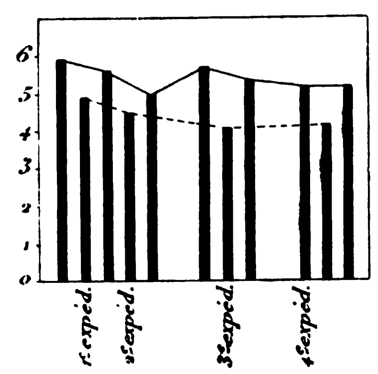


FIG. 15. — Ventil. absolue, chez M. VALLOT. Moy. de chaque expédition. Lit. insp. par min., à 0° et à 0,760 m,
——— Chamonix – – – Mont Blanc.

La moyenne de la ventilation absolue a été de 5,4 lit. à Chamonix et de 4,4 lit. au Mont Blanc. Étant donné la différence des pressions, elle aurait été seulement de 3,6 lit. au Mont Blanc, s'il n'y avait eu aucun changement dans la fonction respiratoire ; il y avait donc 1,8 lit. à compenser, mais l'augmentation de la ventilation réelle n'en a compensé que 1 lit., laissant à d'autres fonctions le soin de compenser les 0,8 lit. qui manquent encore pour rétablir l'équilibre.

Les chiffres exprimant la diminution de la ventilation absolue à la station élevée sont assez variables, dans les diverses expéditions, et compris entre — 1 lit. et — 1,6 lit. La moyenne a été de 1,2 lit. La différence en descendant s'est trouvée de 0,9 lit.

Sujet non entraîné, M. DE GOUMOENS. — Les choses se sont passées assez différemment chez M. de Goumoëns, comme on peut le voir sur le graphique 16. Chez lui, la diminution brusque de la ventilation a été plus considérable que chez moi ; mais il s'est produit ensuite, pendant le séjour au Mont Blanc, une augmentation très rapide qui a amené la ventilation bien près de ce qu'elle était à Chamonix. Seulement, au retour, il s'est produit une augmentation brusque de la ventilation presque aussi grande que la diminution produite par l'ascension, de sorte que la ventilation au retour à Chamonix s'est trouvée beaucoup plus considérable qu'elle n'était

avant l'ascension. Cet état n'a pas persisté, et la ventilation avait repris son taux normal l'année suivante.

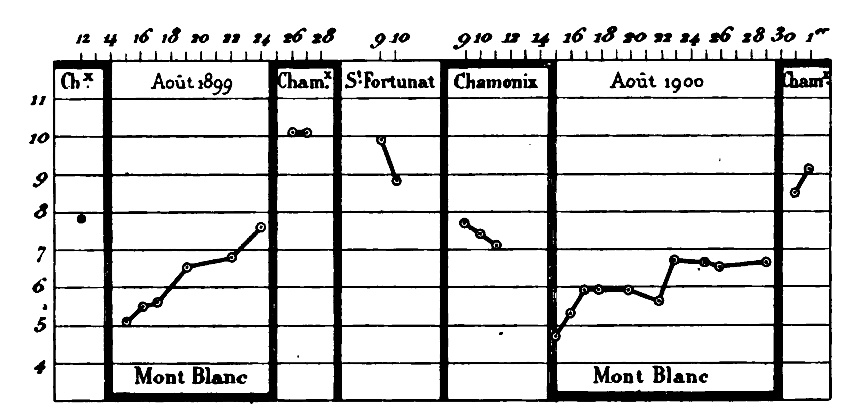


Fig. 16. — Moyenne, pour chaque journée, de la ventilation absolue, chez M. De Goumoens. Litres d'air inspirés par minute, à 0° et à 0,760 m.

Le tableau 18 renferme la moyenne générale de chaque expédition au Mont Blanc et des déterminations qui ont été faites avant et après à Chamonix, ainsi que les différences de la ventilation absolue aux deux stations.

ANNÉE	STATION	LITRES par minute	DIFFÉRENCE en s'élevant	DIFFÉRENCE en descendant
1899	Chamonix	7,8	— 1,6	+ 3,9
—	Mont Blanc	6,2		
—	Chamonix	10,1		
1900	Chamonix	7,4	— 1,4	+ 2,8
—	Mont Blanc	6,0		
—	Chamonix	8,8		
	Moyenne		— 1,5	+ 3,4

18. — Ventilation absolue chez M. de Goumoens. Moyenne de chacune des expéditions. Litres d'air inspirés par minute, à 0° et 0,760 m.

Le graphique 17 traduit le tableau 18 et montre à la fois les variations de la ventilation absolue et le rapport de ces variations avec la grandeur

de la variation. On y a ajouté en grisé la valeur normale à laquelle la ventilation à Chamonix a dû revenir au bout d'un temps plus ou moins long.

La ventilation est beaucoup plus considérable chez M. de Goumoëns que chez moi. A Chamonix, normalement, elle est de 7,4 lit. à 7,8 lit. Au Mont Blanc, elle s'est trouvée de 6 lit. à 6,2 lit., et à Chamonix, au retour, de 8,8 lit. à 10,1 lit.

La moyenne de la ventilation absolue a été de 7,6 lit. à Chamonix avant le départ, et de 6,1 lit. au Mont Blanc. Étant donné la différence des pressions, elle aurait dû être seulement de 5,1 lit. au Mont Blanc s'il n'y avait eu aucun changement respiratoire ; il y avait donc 2,5 lit. à compenser, mais l'augmentation de la ventilation réelle n'en a compensé que 1,5 lit., laissant encore un déficit de 1 lit.

Ces résultats sont très analogues à ceux que j'ai trouvés sur moi et amènent aux mêmes conclusions. La marche rapide de l'augmentation chez M. de Goumoëns et la ventilation élevée observée chez lui à la descente seront traitées plus à fond dans le chapitre suivant.

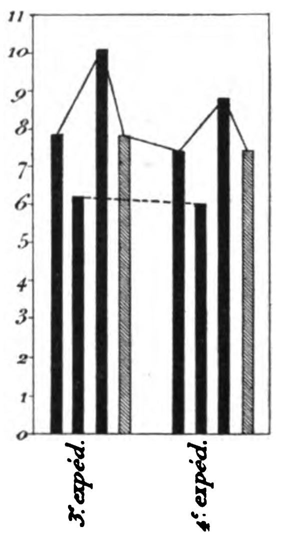


FIG. 17.—Ventil. absolue, chez M. DE GOUMOENS. Moy. de chaque expédition. Lit. insp. par min., à 0° et à 0,760 m.
—Chamonix– – –Mont Blanc

Effet de l'acclimatement. — *Sujet entraîné*, M. VALLOT. — On a réuni dans le tableau 19 les moyennes de chaque jour successif, depuis l'arrivée, pour chaque expédition, ainsi que la moyenne des quatre expéditions. Le détail des diverses expéditions est figuré sur le graphique 14 et la moyenne est figurée sur le graphique 18.

Si l'on se reporte au graphique 14 et qu'on examine la marche de la ventilation, on remarquera qu'il se produit généralement une diminution dans les premiers jours, puis une augmentation sensiblement continue. On mettra ce fait mieux en lumière en se servant des moyennes des quatre expéditions, comme on peut le voir sur le graphique 18.

La marche est la même que pour la ventilation réelle ; il y a d'abord diminution pendant les premiers jours et ensuite augmentation continue.

Du tableau 19 on tirera le tableau 20, qui traduit en chiffres les parties

principales du graphique 18 et indique la proportion de la variation à la ventilation normale.

JOURS depuis L'ARRIVÉE	1898 août	1898 septembre	1899	1900	MOYENNE
1	4,5	4,0	[3,1]**	4,3	4,3
2	4,6	4,0	3,9	4,0	4,1
3	4,1	3,9	4,4	3,7	4,0
4	4,3	4,3	4,0	4,1	4,2
5	4,6	4,5	»	»	»
6	4,4	4,4	3,8	4,1	4,2
7	4,9	4,4	4,0	4,6	4,5
8	4,8	4,9	(4,2)*	4,5	(4,6)*
9	5,0	4,8	4,4	4,2	4,6
10	5,5	4,6	4,4	(4,3)	(4,7)
11	5,2	4,7	4,7	4,4	4,8
12	5,7	4,4	(4,7)	4,4	(4,8)
13	5,4	4,8	»	»	»
14	5,1	4,7	»	»	»
15	»	»	»	4,2	»

19. — Ventilation absolue, chez M. VALLOT. Moyenne de chaque journée, depuis l'arrivée au Mont Blanc. Litres d'air inspirés par minute à 0° et à 0,760 m.

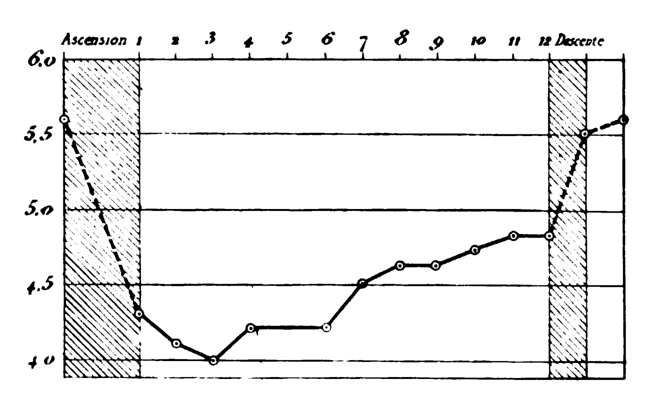


FIG. 18. — Ventil. absolue, chez M. VALLOT. Moy. des quatre expéditions pour chaque jour successif depuis l'arrivée au Mont Blanc. Lit. d'air insp. par min., à 0° et à 0,760 m.

* Les chiffres entre parenthèses sont interpolés. Les moyennes entre parenthèses résultent de trois chiffres observés et un interpolé.

** Le chiffre entre crochets est rejeté et n'entre pas dans le calcul de la moyenne. (Voir la note de la page 17, en haut.)

	VENTILATION en litres par min.	VARIATION en litres	FRACTION de la diminution totale	FRACTION décimale de la ventilation normale
CHAMONIX, *avant le départ.*	5,7			
Effet rapide de l'ascension.		— 1,4	— 0,82	— 0,25
MONT BLANC, *à l'arrivée.*	4,3			
Effet du mal de montagne.		— 0,3	— 0,18	— 0,005
MONT BLANC, *deux jours plus tard.*	4,0			
Diminution totale.		— 1,7	— 1,00	— 0,30
MONT BLANC, *à la fin du séjour.*	4,8			
Effet graduel de l'acclimatement.		0,8	0,47	0,09
CHAMONIX, *à l'arrivée.*	5,6			
Effet rapide de la descente.		0,8	0,47	0,09

20. — Ventilation absolue chez M. VALLOT. Effets de l'ascension, du séjour et de la descente. Litres d'air inspirés par minute, à 0° et à 0,760 m.

On tire de ce tableau les conséquences suivantes :

1° La diminution totale de la ventilation absolue est de — 30 pour cent, c'est-à-dire environ un tiers de la ventilation normale, malgré les efforts de la nature pour y obvier par l'augmentation de la ventilation réelle.

2° L'effet graduel de l'acclimatement produit une augmentation de ventilation absolue qui atteint, en douze jours, 9 pour cent de la ventilation normale ou 47 pour cent de la diminution primitive, corrigeant ainsi la moitié de cette diminution.

JOURS	Août 1898	Septembre 1898	1899	1900	MOYENNE générale
1, 2, 3,	4,1	4,0	4,1	4,0	4,1
4, 5, 6,	4,4	4,4	3,9*	4,1*	4,2
7, 8, 9,	4,9	4,7	4,2*	4,4	4,5
10, 11, 12,	5,5	4,6	4,6*	4,4*	4,8
13, 14.	5,3*	4,8*	»		5,1*

21. — Ventilation absolue chez M. VALLOT. Moy. par trois jours successifs, au Mont Blanc. Litres d'air inspirés par minute, à 0° et à 0,760 m.

3° Le retour à la normale a été immédiat et complet à la descente, le sujet retrouvant tout de suite sa respiration habituelle.

* Moyenne d'après deux jours seulement.

Le tableau 21 et le graphique 19 donnent une autre représentation du phénomène. Chaque point est la moyenne de trois jours successifs dans chacune des quatre expéditions. En bas, se trouve la moyenne générale. Ce graphique montre que l'augmentation de la ventilation se produit dans chacune des expéditions, mais que son intensité est variable. La moyenne offre une grande régularité et fait supposer que l'augmentation continue à se produire au bout de douze jours, et pourrait, sans doute, devenir plus considérable par un plus long séjour.

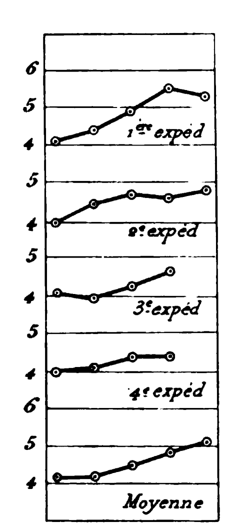


Fig. 19. — Ventil. absolue, chez M. Vallot. Moy. par trois jours successifs, au Mont Blanc. Lit. d'air insp. par min., à 0° et à 0,760 m.

La ventilation absolue est plus compliquée que la ventilation réelle, car, après avoir subi une diminution brusque, elle éprouve une augmentation progressive. On peut se rendre compte de l'amélioration due à l'acclimatement par l'examen du tableau 22, qui établira, par une sorte de compte de profits et pertes, ce que la nature demande au poumon et ce qu'elle en obtient en réalité.

Le changement de pression, lorsqu'on passe de Chamonix au Mont Blanc, fait diminuer la ventilation absolue dans le rapport des pressions aux deux stations. La ventilation, qui était de 5,7 lit. à Chamonix, serait au Mont Blanc de 3,8 lit.; c'est la *ventilation théorique* de cette station; il devrait donc se produire une diminution théorique de — 1,9 lit. Mais il n'en est pas ainsi en réalité; le poumon augmente son effort à mesure qu'on s'élève, et la diminution réelle n'est que de — 1,4 lit. soit 74 pour cent de la perte totale. L'effort du poumon produit donc un gain de 0,5 lit. ou de 26 pour cent seulement, parce que la diminution théorique de la ventilation absolue, — 1,9 lit., est trop considérable pour que le poumon puisse la compenser immédiatement. Il se produit ensuite une petite diminution de — 3 lit., ou 16 pour cent, due probablement au mal de montagne. Après cela, l'acclimatement produit une augmentation continue, qui constitue un gain de 0,8 lit., ou 42 pour cent. A la fin de l'expédition, le poumon a ainsi regagné 1 lit. ou 53 pour cent, c'est-à-dire plus de la moitié de ce que la faible pression lui faisait perdre, mais comme la diminution théorique est de — 1,9 lit.

il y a encore un *déficit* de 0,9 lit. ou 47 pour cent que le poumon n'est pas encore parvenu à combler au bout d'une assez longue période.

	VENTILATION en litres par min.	VARIATION en litres	FRACTION de la perte théorique	FRACTION décimale de la ventilation normale
CHAMONIX, *avant le départ.*	5,7			
MONT BLANC, *ventilation théorique.*	3,8			
Perte théorique.		— 1,9	— 1,00	— 0,33
MONT BLANC, *à l'arrivée.*	4,3			
Perte réelle observée.		— 1,4	— 0,74	— 0,25
Gain pendant l'ascension.		0,5	0,26	0,09
MONT BLANC, *au bout de deux jours.*	4,0			
Perte (due au mal de montagne ?)		— 0,3	— 0,16	— 0,05
MONT BLANC, *à la fin du séjour.*	4,8			
Gain dû à l'acclimatement.		0,8	0,42	0,14
Gain total.		1,0	0,53	0,18
Déficit restant après douze jours.		— 0,9	— 0,47	— 0,16

22. — Ventilation absolue chez M. VALLOT. Résultat de l'acclimatement. Litres d'air inspirés, à 0° et à 0,760 m.

La forme des courbes du graphique 19 paraît montrer que l'augmentation de la ventilation ne se ralentit pas à la fin des périodes d'expérience, et il est à présumer que la ventilation absolue finirait par atteindre la normale au bout d'un temps plus ou moins long.

Le tableau 22 permet aussi de se rendre compte de la fraction dont le poumon est privé, par rapport à la ventilation normale, et de la fraction qu'il parvient à récupérer par l'acclimatement. La perte théorique au Mont Blanc est de — 33 pour cent de la normale; mais la perte réelle observée n'est que de — 25 pour cent à l'arrivée; elle devient ensuite de — 30 pour cent mais se réduit de 14 pour cent par suite de l'acclimatement. L'ensemble des modifications de la respiration fait gagner 18 pour cent de la normale, et il reste encore au bout de douze jours, — 16 pour cent à récupérer.

On peut tirer de tout cela les conclusions suivantes :

1° Le séjour continu à une grande altitude provoque un acclimatement graduel, par l'augmentation de la fonction respiratoire.

2° Cet acclimatement est lent et bien loin d'être terminé au bout de douze jours, mais il paraît se continuer; on ne sait s'il arriverait à être complet.



D'après ces observations, l'état du sujet doit être précaire les premiers jours, et, la quantité d'air inspiré étant insuffisante, la nature doit demander

JOURS depuis l'arrivée	1898 AOUT	1898 SEPTEMBRE	1899	1900	MOYENNE des deux premiers
1	6,0	5,5	5,6	5,4	5,8
2	6,0	5,5	5,4	4,9	5,8
3	5,4	5,4	»	»	5,4
4	5,5	5,1	»	5,3	5,3
5	6,1	5,1	»	»	5,6
6	5,5	4,9	»	»	5,2
7	»	»	»	»	»
8	5,5	»	»	»	»
9	»	»	»	»	»
10	5,7	»	»	»	»
11	5,4	»	»	»	»
12	5,0	»	»	»	»
13	»	5,3	»	»	»
14	»	4,9	»	»	»
15	»	4,3	»	»	»
16	»	4,5	»	»	»
17	»	4,9	»	»	»
18	»	4,8	»	»	»
19	»	4,7	5,1	»	»

23. — Ventilation absolue chez M. Vallot. Moyenne de chaque journée depuis le retour à Chamonix. Litres d'air inspirés par minute à 0° et à 0,760 m.

le secours d'un autre procédé pour suppléer, au moins pendant quelque temps, au déficit de la quantité absolue d'air inspiré.

JOURS	1898 août	1898 septembre	1899	1900
1, 2, 3,	5,8	5,5	5,5*	5,2*
4, 5, 6,	5,7	5,0	»	5,3**
7, 8, 9,	5,5	»	»	
10, 11, 12,	5,4	»	»	
13, 14, 15,	»	4,8	»	
16, 17, 18.	»	4,7	5,1**	

24. — Ventilation absolue chez M. Vallot. Moyenne par trois jours successifs, à Chamonix, au retour. Litres d'air inspirés à 0° et à 0,760 m.

On voit dans les tableaux 23 et 24 que le retour à la normale est presque immédiat à la descente. Le graphique 20, qui donne la moyennne

par trois jours successifs, montre que la ventilation absolue s'est trouvée diminuer pendant quelque temps après les expéditions. Ce fait est curieux à constater : il semblerait que l'économie s'est habituée à se contenter d'une ventilation plus faible, de sorte que celle-ci descend, pendant quelque temps, au-dessous de la normale, mais les expériences ne sont pas assez nombreuses pour qu'on puisse être très affirmatif à cet égard.

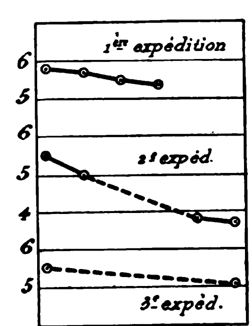


Fig. 20. — Ventil. absolue, chez M. Vallot. Moy. par trois jours successifs, au retour à Chamonix. Litres d'air par minute à 0° et à 0,760 m.

Sujet non entraîné, M. de Goumoens. — Le tableau 25 et les graphiques 16 et 21 montrent comment s'est conduit le sujet non entraîné. Les phénomènes ont été plus simples que chez moi. La ventilation réelle n'ayant que peu changé pendant l'ascension, il y a eu d'abord une diminution très considérable dans la ventilation, puis une augmentation très rapide pendant tout le séjour. A la descente à Chamonix, la ventilation est encore restée tout d'abord ce qu'elle

JOURS depuis l'arrivée	1899	1900	MOYENNE
1	»	4,7	(4,7)*
2	5,1	5,3	5,2
3	5,5	5,9	5,7
4	5,6	5,9	5,8
5	»	»	»
6	6,5	5,9	6,2
7	(6,6)*	(5,6)	»
8	(6,7)	5,6	(6,2)
9	6,8	6,7	6,8
10	»	»	»
11	7,6	6,6	7,1
12	»	6,5	»
»	»	»	»
»	»	»	»
15	»	6,6	»

25. — Ventilation absolue, chez M. de Goumoens. Moyenne de chaque journée, depuis l'arrivée au Mont Blanc. Litres d'air inspirés par minute, à 0° et à 0,760 m.

* Les chiffres entre parenthèses sont interpolés. Les moyennes entre parenthèses résultent de trois chiffres observés et un interpolé.

était en haut, de sorte qu'il s'est produit une grande augmentation de la ventilation absolue ; celle-ci s'est ainsi trouvée pendant quelque temps fort au-dessus de la normale.

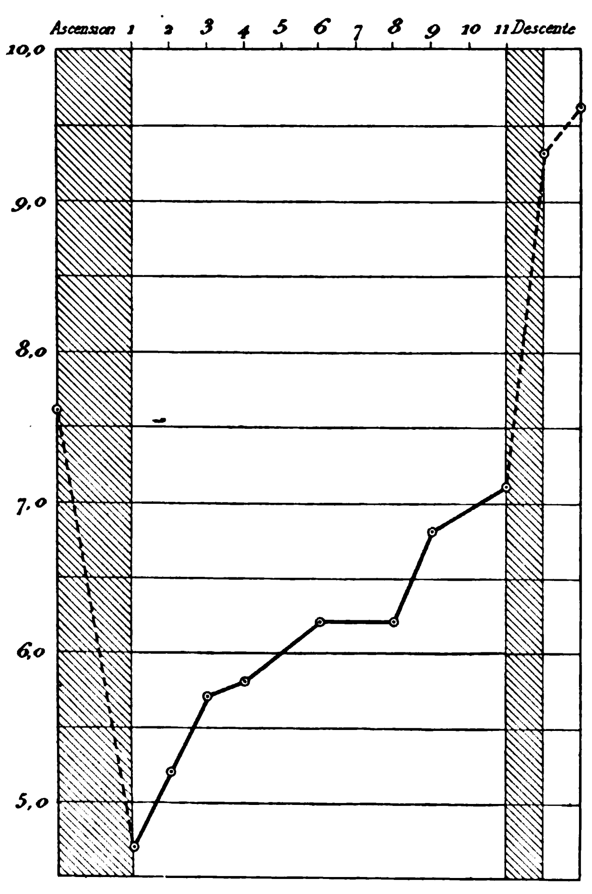


FIG. 21. — Ventil. absolue, chez M. DE GOUMOENS. Moy. des deux expéditions pour chaque jour successif depuis l'arrivée au Mont Blanc. Lit. insp. par min., à 36° et à 0,760 m.

Le tableau 26 traduit en chiffres le graphique 21 et indique la proportion de la variation à la ventilation.

On tire de ce tableau les conséquences suivantes :

1° Chez le sujet non entraîné, la diminution totale de la ventilation est de — 39 pour cent, donc plus considérable encore que chez moi.

2° L'effet graduel de l'acclimatement produit une augmentation de venti-

lation absolue qui atteint, en douze jours, 31 pour cent de la ventilation

	VENTILATION en litres par min.	VARIATION en litres	FRACTION de la diminution totale	FRACTION décimale de la ventilation normale
CHAMONIX, *avant le départ.*	7,7			
MONT BLANC, *à l'arrivée.*	4,7			
Effet rapide de l'ascension.		— 3,0	— 1,00	— 0,39
MONT BLANC, *à la fin du séjour.*	7,1			
Effet graduel de l'acclimatement.		2,4	0,80	0,31
CHAMONIX, *à l'arrivée.*	9,4			
Effet rapide de la descente.		2,3	0,76	0,30

26. — Ventilation absolue chez M. DE GOUMOENS. Effets de l'ascension, du séjour et de la descente. Litres d'air inspirés par minute, à 0° et à 0,760 m.

normale, ou 80 pour cent de la diminution primitive. Celle-ci se trouve donc presque entièrement corrigée.

3° Au retour, il se produit une augmentation de 30 pour cent de la ventilation normale, qui porte pour quelque temps la ventilation à un taux excessif, très élevé au-dessus de la normale.

Le tableau 27 et le graphique 22 donnent les moyennes par trois jours successifs pour chaque expédition. On voit la ventilation augmenter assez

JOURS	1899	1900	MOYENNE générale
1, 2, 3,	5,3*	5,3	5,3
4, 5, 6,	6,1*	5,9	6,0
7, 8, 9,	6,8**	6,2	6,5
10, 11, 12,	7,6**	6,5	7,1
13, 14, 15.	»	6,6	»

27. — Ventilation absolue chez M. DE GOUMOENS. Moyenne par trois jours successifs, au Mont Blanc. Litres d'air inspirés par minute à 0° et à 0,760 m.

régulièrement dans chaque expédition, et l'on remarque que l'augmentation est bien plus forte que chez moi. Le tableau 28 établit le compte, par profits

* Moyenne d'après deux jours seulement,

* Un seul jour,

et pertes, de ce que la nature demande au poumon et de ce qu'elle en obtient en réalité.

Le sujet non entraîné, au lieu de gagner comme moi pendant l'ascension,

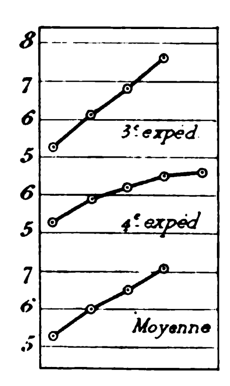


Fig. 22. — Ventil. absolue, chez M. de Goumoens. Moy. par trois jours successifs, au Mont Blanc. Lit. d'air insp. par min., à 36° et à 0,760 m.

a éprouvé au contraire une perte de 0,5 lit. Mais ensuite, l'acclimatement a produit chez lui le gain énorme de 2,4 lit., ce qui donne 1,9 lit. sur la ventilation théorique, de sorte que, au bout de onze jours, le déficit n'est plus que de — 0,6 lit.

	Ventilation en litres par min.	Variation en litres	Fraction de la perte théorique	Fraction décimale de la ventilation normale
Chamonix, *avant le départ.*	7,7			
Mont Blanc, *ventilation théorique.*	5,2			
Perte théorique.		— 2,5	— 1,00	— 0,33
Mont Blanc, *à l'arrivée.*	4,7			
Perte réelle observée.		— 3,0	— 1,20	— 0,39
Perte pendant l'ascension.		— 0,5	— 0,20	— 0,07
Mont Blanc, *à la fin du séjour.*	7,1			
Gain dû à l'acclimatement.		2,4	0,96	0,31
Gain total.		1,9	0.76	0,25
Déficit restant après onze jours.		— 0,6	— 0,24	— 0,03

28. — Ventilation absolue chez M. de Goumoens. Résultat de l'acclimatement. Litres d'air inspirés, à 0° et à 0,760 m.

En fractions de la perte théorique, ce sujet a perdu d'abord — 20 pour

cent, puis il a regagné 96 pour cent, ce qui produit 76 pour cent de ce qu'il faudrait regagner pour revenir à la normale. Le déficit n'était plus alors que de — 24 pour cent, et le sujet avait regagné les trois quarts de ce que la différence de pression lui avait fait perdre.

FRÉQUENCE DES INSPIRATIONS

Variation diurne. — Maintenant que l'on sait que la ventilation augmente au Mont Blanc, il faudrait chercher de quelle façon se produit le phénomène et chercher si l'augmentation est due à la fréquence des inspirations, ou à leur profondeur, ou à ces deux causes réunies.

MONT BLANC		CHAMONIX		PARIS	
DATE	CORRECTION	DATE	CORRECTION	DATE	CORRECTION
7 sept.	— 0,5	15 sept.	— 2,0	19 mai	0,0
8 —	— 1,0	16 —	— 0,8	11 juin	— 0,5
9 —	— 0,5	17 —	— 1,3	19 —	+ 0,5
10 —	+ 1,0	18 —	+ 0,2		
11 —	+ 0,5	19 —	+ 0,2		
12 —	— 0,0	20 —	+ 0,7		
13 —	+ 0,5	30 —	+ 3,2		

29. — Correction applicable à chaque journée pour l'étude de la variation diurne de la fréquence des inspirations.

Le tableau 5, colonne *h*, donne, pour chacun des sept jours d'observations continues, la fréquence des inspirations, c'est-à-dire leur nombre par minute, d'après la moyenne des quatorze minutes d'observation. Ces chiffres sont représentés sur les graphiques 23, 24 et 25.

L'examen des graphiques est loin de donner des résultats aussi saillants que ceux qu'on a observés pour la ventilation. L'influence des repas se révèle souvent, mais elle n'est pas constante; néanmoins, il est bon d'établir les moyennes, qui permettront de mieux se rendre compte de la réalité de la variation régulière. Le calcul des moyennes a été fait par le procédé

indiqué à la ventilation, après avoir appliqué aux diverses journées les corrections suivantes :

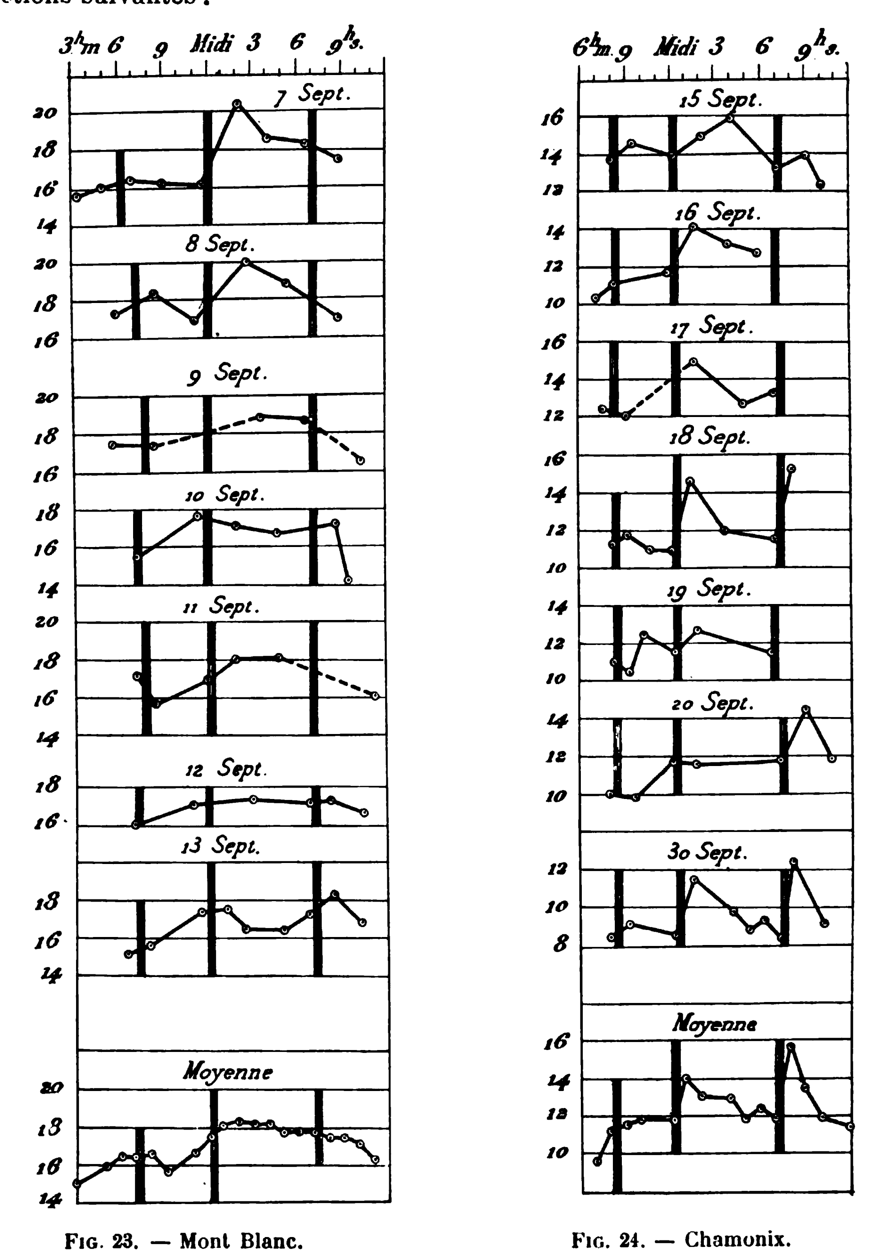


Fig. 23. — Mont Blanc. Fig. 24. — Chamonix.

Variation diurne du nombre d'inspirations par minute, chez M. Vallot.

Le tableau 30 et le graphique 26 donnent les moyennes obtenues par ce procédé, pour Chamonix, Paris et le Mont Blanc.

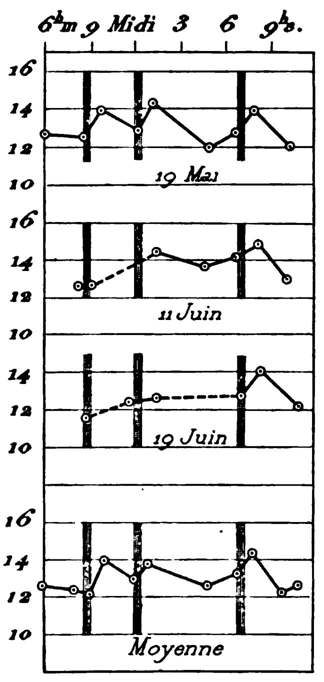


Fig. 25. — Variat. diurne du nombre d'inspir. par min. à Paris, chez M. Vallot.

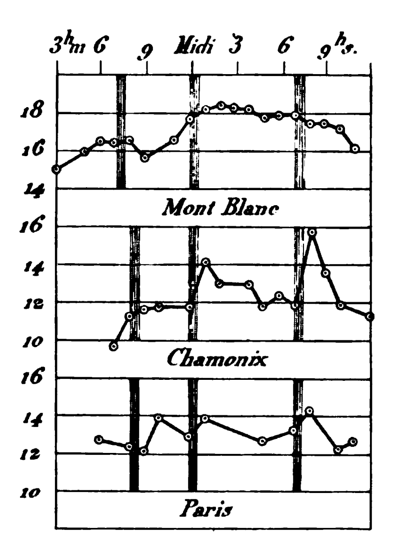


Fig. 26. — Moy. de la variat. diurne du nombre d'insp. par min., chez M. Vallot.

La moyenne de Chamonix révèle une notable augmentation de la fréquence respiratoire après les deux principaux repas, mais n'en montre pas après le repas du matin. A Paris, l'influence des repas semble nulle, et la variation est bien peu marquée. Au Mont Blanc, il paraît y avoir une augmentation pendant la matinée, le nombre des inspirations restant ensuite stationnaire, sans que les repas montrent aucune influence.

En présence de ces divergences, j'ai pensé qu'il était préférable de ne tenir compte dans aucune des stations d'une variation dont la régularité est si peu démontrée, et je n'ai pas cru devoir faire une correction horaire qui risquerait d'introduire des erreurs. Il se trouve, du reste, que le nombre des inspirations paraît être presque constant dans l'après-midi, et comme c'est à ce moment de la journée que presque toutes les observa-

tions ont été faites, une correction n'aurait que très peu d'importance.

L'amplitude moyenne de la variation au cours de la journée s'est trouvée chez moi de 3 inspirations au Mont Blanc, c'est-à-dire d'un sixième de la variation maxima, de 6 inspirations à Chamonix, et seulement de 2 et demie à Paris. Il s'agit toujours des inspirations faites à travers le compteur.

HEURE	MONT BLANC — Nombre D'INSPIRATIONS	CHAMONIX — Nombre D'INSPIRATIONS	PARIS — Nombre D'INSPIRATIONS
6	16,4	(9,6)*	12,6
7	16,4	9,6	(12,5)*
8	16,5	11,2	12,3
9	15,6	11,5	12,1
10	(16,5)*	11,8	13,9
11	16,5	(11,8)	(13,4)
midi	17,5	11,7	12,9
1	18,1	14,0	13,7
2	18,3	13,0	(13,3)
3	18,2	(12,9)	»
4	18,1	12,9	(12,9)
5	17,7	11,8	12,5
6	17,8	12,3	(12,9)
7	17,7	11,8	13,2
8	17,4	15,6	14,2
9	17,4	13,5	(13,2)
10	17,1	11,8	12,2
11	16,2	(11,5)	12,6
minuit	»	11,3	»
Moyenne	18,4	13,1	13,0

30. — Variation diurne du nombre des inspirations par minute, chez M. Vallot.

On se rendra compte des variations irrégulières qui se produisent au cours d'une journée, en examinant le graphique 27 qui représente les expériences de l'année 1898, figurées par groupes d'une journée, sans tenir compte des intervalles horaires.

Ces variations paraissent avoir au Mont Blanc à peu près la même

* Les chiffres entre parenthèses sont interpolés et ne concourent pas au calcul de la moyenne.

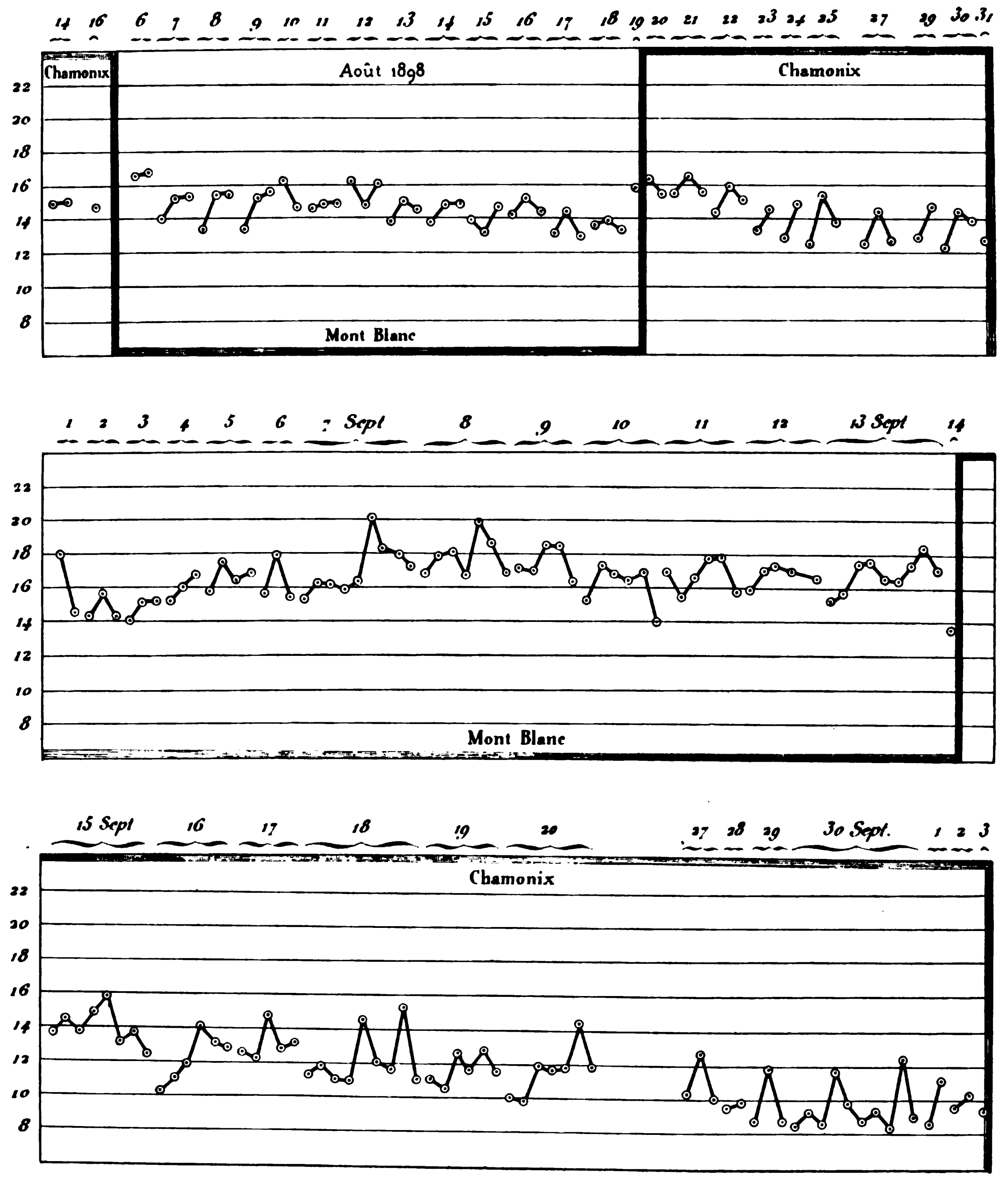


FIG. 27. — Variation du nombre des inspirations par minute, chez M. VALLOT.
Détail des observations de deux expéditions.

intensité qu'à Chamonix; elles atteignent parfois 4 à 5 inspirations, c'est-à-dire le quart du nombre total des inspirations.

Influence de l'altitude. — *Sujet entraîné*, M. Vallot. — On trouvera au tableau 5, colonne *h*, le nombre d'inspirations par minute et, colonne *i*, la moyenne pour chaque jour. Ces moyennes sont figurées sur le graphique 28.

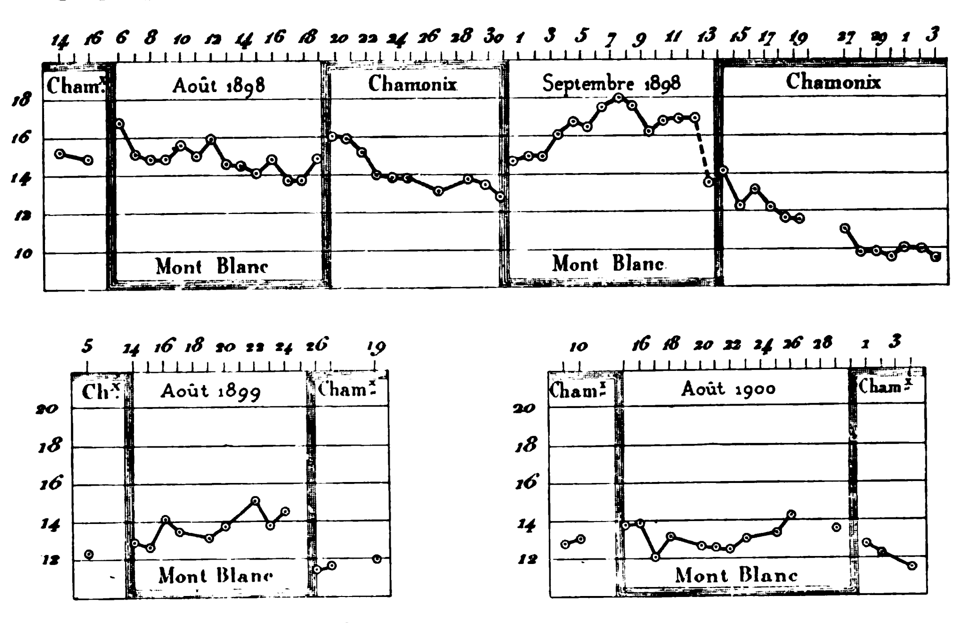


Fig. 28. — Moyenne, pour chaque journée, du nombre d'inspirations par minute, chez M. Vallot.

L'examen de ce graphique ne permet pas de dégager des résultats bien certains, car les chiffres obtenus au Mont Blanc dans la première et la quatrième expédition sont peu différents de ceux de Chamonix, mais les autres expéditions donnent des résultats très marqués et semblent montrer que la fréquence respiratoire augmente généralement quand on monte au Mont Blanc, et qu'elle diminue quand on en descend. Pour se rendre compte de la réalité des faits, on a calculé la moyenne générale de chaque expédition au Mont Blanc et des déterminations qui ont été faites avant et après, à Chamonix. On a réuni ces moyennes dans le tableau 31 avec les différences de la fréquence respiratoire aux deux stations.

Ce tableau montre que, lorsqu'on a habité la station supérieure, la fré-

quence respiratoire a presque toujours augmenté, pour diminuer ensuite

ANNÉE	STATION	NOMBRE d'inspirations	DIFFÉRENCE en s'élevant	DIFFÉRENCE en descendant
1898	Chamonix	15,1	— 0,2	
—	Mont Blanc	14,9		— 0,7
—	Chamonix	14,2	+ 2,2	
—	Mont Blanc	16,4		— 5,4
—	Chamonix	11,2		
1899	Chamonix	12,8	+ 1,4	
—	Mont Blanc	13,7		— 2,2
—	Chamonix	11,5		
1900	Chamonix	12,9	+ 0,2	
—	Mont Blanc	13,1		— 1,0
—	Chamonix	12,1		
	Moyenne		+ 1,2	— 2,3

31. — Nombre des inspirations par minute chez M. Vallot. Moy. de chaque expédition.

à la station inférieure. L'augmentation a été très inégale, forte à la seconde et à la troisième expédition, et faible à la quatrième. A la première expédition, il y a eu une légère diminution. On peut conclure que, lorsque le sujet se transporte à une grande altitude, la fréquence respiratoire peut conserver le même taux ou augmenter considérablement. Mais si, dans certains cas, on n'a pas observé d'augmentation à la montée, on a toujours trouvé une notable diminution à la descente, de sorte qu'en moyenne la fréquence respiratoire paraît être plus élevée aux grandes altitudes.

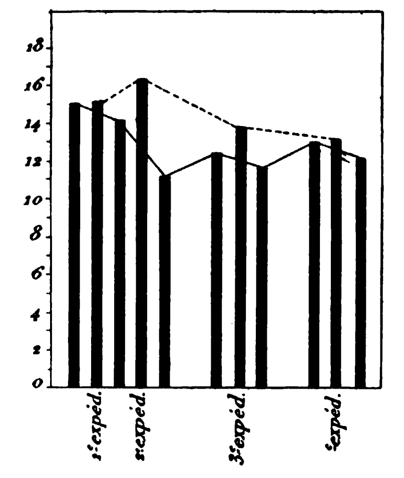


Fig. 29. — Nombre d'insp. par min., chez M. Vallot. Moy. de chaque expédition.
—— Chamonix – – – – Mont Blanc.

Le graphique 29 traduit le tableau 31 et montre à la fois les variations de la fréquence respiratoire et le rapport de ces variations avec la gran-

deur de la ventilation. Tous ces éléments présentent des variations assez considérables, même à Chamonix, où l'on voit la fréquence respiratoire varier de 15,1 à 11,2, ce qui donne une différence de 3,9 pour des déterminations moyennes faites à la même station à différentes époques. Au Mont Blanc, la ventilation a varié de 16,4 à 13,1, ce qui donne une différence de 4,3 un peu plus grande qu'à Chamonix.

La moyenne de la fréquence respiratoire a été de 12,8 à Chamonix et de 14,5 au Mont Blanc. L'augmentation en s'élevant s'est montrée très variable, de — 0,2 à 2,2, la moyenne étant de 1,2. Les mêmes variations s'observent à la descente, où la fréquence respiratoire a varié de — 0,7 à — 5,4 et où la moyenne — 2,3 est beaucoup plus considérable qu'à la montée. Comme pour la ventilation, il semble que l'organisme s'est habitué à une vie plus réduite, qui persiste un certain temps après la descente et fait descendre la fréquence respiratoire au-dessous de la normale.

Sujet non entraîné, M. de Goumoens. — Les choses se sont passées différemment chez M. de Goumoëns. Comme on le voit sur le graphique 30, il n'y a pas de différence bien marquée entre les chiffres des deux stations.

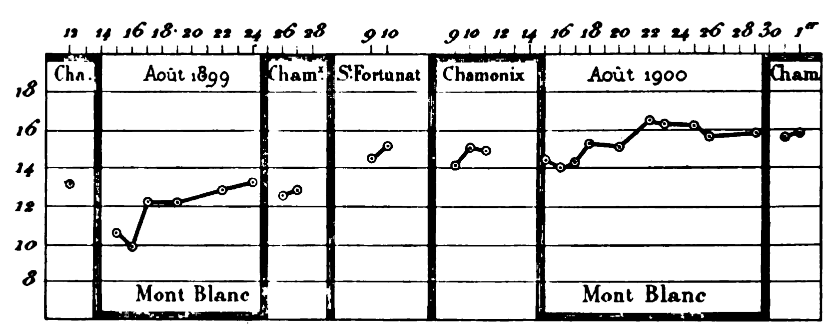


Fig. 30. — Moyenne, pour chaque journée, du nombre d'inspirations par minute, chez M. de Goumoens.

Le tableau 32 et le graphique 31, donnant les moyennes, montrent que la fréquence respiratoire est restée à peu près la même. Le sujet étant revenu du Mont Blanc très enrhumé et étant reparti presque aussitôt après la descente, sa respiration n'a pas pu être étudiée assez longtemps à ce moment, et les chiffres ne se rapportent qu'à un jour ou deux après la descente. Faute de mieux, je les ai fait suivre du chiffre trouvé avant le départ, mis entre parenthèses dans le tableau et figuré par une colonne

ANNÉE	STATION	NOMBRE d'inspirations	DIFFÉRENCE en s'élevant	DIFFÉRENCE en descendant
1899	Chamonix	13,0	— 1,2	
—	Mont Blanc	11,8		+ 0,9
—	Chamonix	12,7		
—	[Chamonix]	[13,0]		+ 0,3
1900	Chamonix	14,7	+ 0,7	
—	Mont Blanc	15,4		+ 0,3
—	Chamonix	15,7		
—	[Chamonix]	[14,7]		— 1,0
	Moyenne		+ 0,3	+ 0,3

32. — Fréquence des inspirations par minute, chez M. de Goumoens. Moyenne de chaque expédition.

en grisé sur le graphique. On voit que l'adaptation a été à peu près nulle chez ce sujet au point de vue de la fréquence respiratoire.

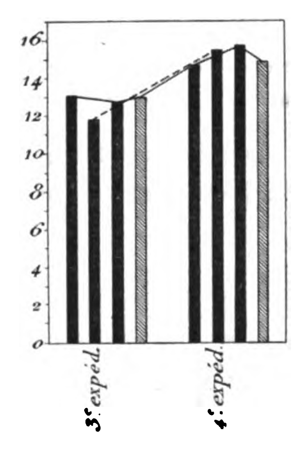


Fig. 31. — Nombre d'inspir. par min., chez M. de Goumoens. Moy. de chaque expédition.
———— Chamonix – – – – – – Mont Blanc.

Effet de l'acclimatement. — *Sujet entraîné,* M. Vallot. — On a réuni dans le tableau 33 la moyenne de chaque jour successif, depuis l'arrivée, pour chaque expédition, ainsi que les moyennes des quatre expéditions. Le détail des diverses expéditions est figuré sur le graphique 28 et la moyenne est figurée sur le graphique 32.

Si l'on se reporte au graphique 32 et qu'on examine la marche de la fréquence respiratoire, on remarquera qu'elle présente des irrégularités,

JOURS depuis L'ARRIVÉE	1893 août	1898 septembre	1899	1900	MOYENNE
1	16,9	14,6	12,9	13,7	14,5
2	15,1	14,9	12,6	13,8	14,1
3	14,9	14,9	14,1	12,0	13,9
4	14,9	16,1	13,4	13,1	14,4
5	15,6	16,8	»	»	»
6	14,9	16,5	13,1	12,6	14,3
7	15,9	17,1	13,7	12,5	14,8
8	14,6	18,0	(14,3)*	12,5	(14,8)*
9	14,6	17,6	15,0	13,0	15,0
10	14,1	16,2	13,7	(13,2)	(14,3)
11	14,8	16,8	(14,4)	13,3	14,8
12	13,7	16,9	(14,4)	14,2	(14,8)
13	13,7	16,9	»	»	»
14	14,8	[13,5]**	»	»	»
15	»	»	»	13,5	»

33. — Nombre des inspirations par minute, chez M. Vallot. Moyenne de chaque journée depuis l'arrivée au Mont Blanc.

mais qu'on discerne assez nettement, après l'augmentation du premier jour, une diminution rapide les deux jours suivants, suivie d'une ascension lente et irrégulière.

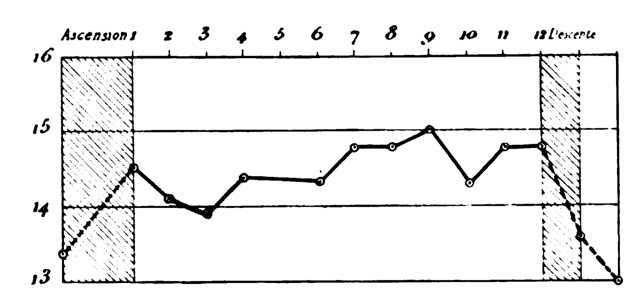


Fig. 32. — Nombre d'inspir. par min., chez M. Vallot. Moy. des quatre expéditions pour chaque jour successif depuis l'arrivée au Mont Blanc.

* Les chiffres entre parenthèses sont interpolés. Les moyennes entre parenthèses résultent de trois chiffres observés et un interpolé.

La marche est la même que pour la ventilation, mais elle est plus irrégulière et moins intense.

	NOMBRE d'inspirations par min.	VARIATION	FRACTION de l'augmentation totale	FRACTION décimale de la fréquence normale
CHAMONIX, *avant le départ.*	13,4			
MONT BLANC, *à l'arrivée.*	14,5			
Effet rapide de l'ascension.		1,1	0,8	0,08
MONT BLANC, *deux jours plus tard.*	13,9			
Effet du mal de montagne (?)		— 0,6	— 0,4	— 0,04
MONT BLANC, *à la fin du séjour.*	14,8			
Effet graduel de l'acclimatement.		0,9	0,6	0,07
Augmentation totale.		1,4	1,0	0,10
CHAMONIX, *à l'arrivée.*	13,6			
Effet rapide de la descente.		— 1,2	— 0,9	— 0,09

34. — Nombre d'inspirations par minute, chez M. VALLOT. Effets de l'ascension, du séjour et de la descente.

Du tableau 33 on tirera le tableau 34, qui traduit en chiffres les parties principales du graphique 32. On en tire les conséquences suivantes.

L'ascension produit une augmentation moyenne de la fréquence respiratoire

JOURS	1898 août	1898 septembre	1899	1900	MOYENNE générale
1, 2, 3,	15,6	14,8	13,4*	13,2	14,4
4, 5, 6,	15,1	16,4	13,3*	12,9*	14,7
7, 8, 9,	15,0	17,6	14,3*	12,7	14,9
10, 11, 12,	14,2	16,6	14,1*	13,8*	14,8
13, 14.	14,2*	16,9**	»	13,5**	14,7

35. — Nombre d'inspirations par minute, chez M. VALLOT. Moyenne par trois jours successifs, au Mont Blanc.

de 8 pour cent de la fréquence normale. On observe ensuite une diminution de — 4 pour cent, due, sans doute, au mal de montagne, mais l'acclima-

* Moyenne d'après deux jours seulement.
** Un seul jour.

tement produit une augmentation de 7 pour cent. Au total, à la fin du séjour, la fréquence respiratoire se trouve augmentée de 10 pour cent de la fréquence normale. Ce rapport étant beaucoup plus petit que celui de la ventilation, on peut en conclure que la fréquence respiratoire est un facteur peu important de l'augmentation de la ventilation.

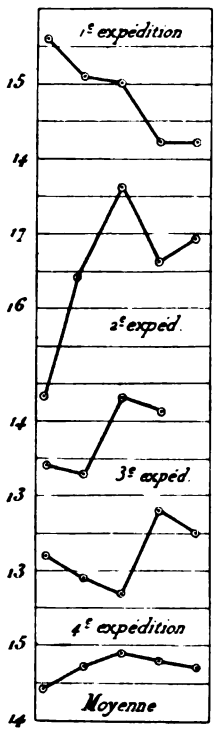


Fig. 33. — Nombre d'inspir. par min., chez M. Vallot. Moy. par trois jours successifs, au Mont Blanc.

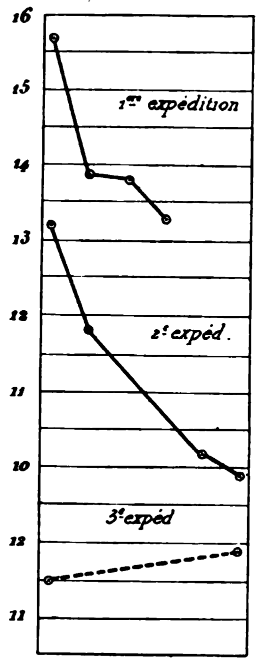


Fig. 34. — Nombre d'inspir. par min., chez M. Vallot. Moy. par trois jours successifs, au retour à Chamonix.

Le tableau 35 et le graphique 33 donnent une autre représentation du phénomène. Chaque point est la moyenne de trois jours successifs dans chacune des quatre expéditions. En bas, se trouve la moyenne générale. Ce graphique montre que l'augmentation de la fréquence respiratoire se produit dans trois des expéditions avec une intensité variable et qu'elle est remplacée par une diminution dans la première expédition.

On voit que la fréquence respiratoire est un facteur irrégulier, dont les

variations ne peuvent pas être attribuées à l'altitude d'une manière tout à fait certaine, puisqu'elles se produisent parfois en sens contraire.

Cependant, comme les moyennes générales indiquent une augmentation habituelle aux grandes altitudes, il est à supposer que l'altitude a une influence réelle. Le sujet ayant subi une forte crise rhumatismale pendant la première expédition, et ayant absorbé une grande quantité de salicylate de soude à ce moment, il est possible qu'il faille attribuer à ces circonstances les résultats divergents observés dans cette expédition. Les expériences faites sur M. de Goumoëns pourront éclairer les conclusions.

JOURS depuis L'ARRIVÉE	1898 août	1898 septembre	1899	1900	MOYENNE des DEUX PREMIERS
1	16,0	14,1	11,4	12,7	15,1
2	15,9	12,3	11,6	12,2	14,1
3	15,2	13,2	»	»	14,2
4	14,0	12,2	»	11,5	13,1
5	13,8	11,7	»	»	12,8
6	13,8	11,6	»	»	12,7
7	»	»	»	»	»
8	13,2	»	»	»	»
9	»	»	»	»	»
10	13,7	»	»	»	»
11	13,4	»	»	»	»
12	12,8	»	»	»	»
13	»	11,0	»	»	»
14	»	9,8	»	»	»
15	»	9,8	»	»	»
16	»	9,6	»	»	»
17	»	10,0	»	»	»
18	»	10,0	»	»	»
19	»	9,5	»	»	11,9

36. — Nombre d'inspirations par minute, chez M. Vallot. Moyenne de chaque journée depuis le retour à Chamonix.

Je signalerai aussi le fait singulier du nombre élevé des inspirations pendant les trois premiers jours qui ont suivi la descente à Chamonix, après la première expédition. Les inspirations étaient plus nombreuses qu'au Mont Blanc. Ce fait doit être attribué à la diminution au Mont Blanc dont je viens de parler; au retour, la respiration est remontée pour revenir

à la normale. La crise rhumatismale venait, du reste, de se terminer, et le traitement avait cessé.

En somme, la fréquence respiratoire constitue un facteur variable, bien que peu intense du phénomène respiratoire. Il se modifie avec l'altitude, et ses modifications sont capables de neutraliser en partie les mauvais effets de la diminution de pression, mais elles présentent parfois des irrégularités déconcertantes.

JOURS	1898 AOUT	1898 SEPTEMBRE	1899	1900
1, 2, 3,	15,7	13,2	11,5*	12,5*
4, 5, 6,	13,9	11,8	»	11,5**
7, 8, 9,	13,8**	»	»	»
10, 11, 12,	13,8	»	»	»
13, 14, 15,	»	10,2	»	»
16, 17, 18.	»	9,9	11,9**	»

37. — Nombre d'inspirations par minute, chez M. Vallot. Moyenne par trois jours successifs à Chamonix, au retour.

Les tableaux 36 et 37, et le graphique 34, qui donne la moyenne par trois jours successifs, font voir ce qui se passe à la descente. Le retour à la normale s'effectue presque brusquement, la diminution immédiate étant de — 1,2 après une augmentation progressive de 1,4. De même que la ventilation, le nombre d'inspirations continue souvent à diminuer pendant quelque temps, après le retour, et descend au-dessous de la normale, comme on le voit après la première et la seconde expédition, jusqu'à n'être plus parfois que de 10 inspirations par minute. Plus tard, elle remonte à la normale.

Effet de la marche. — On va examiner maintenant si un exercice violent peut causer des variations durables dans la fréquence des inspirations. On a vu plus haut qu'un tel exercice n'a pas d'influence sur la ventilation après un court repos, mais il est bon de voir si les éléments de la ventilation n'en sont pas affectés, car il pourrait y avoir compensation de ces divers éléments.

* Moyenne d'après deux jours seulement.

** Un seul jour.

Les observations suivantes permettront de se rendre compte des faits sur le graphique 27.

5 septembre 1898, troisième point. Observation faite après un repos de une heure, consécutif à une course très rapide au Mont Blanc.

6 septembre 1898, deuxième point. Après repos de 30 minutes, consécutif à une course au Mont Maudit.

9 septembre 1898, troisième point. Après repos de 1 h. 30 et déjeuner, consécutif à une course au Mont Blanc.

On trouvera aussi sur le graphique 28 les observations suivantes :

22 août 1899. Après repos de 2 heures, consécutif à une descente rapide du Mont Blanc.

23 août 1899. Après un repos de 30 minutes, consécutif à une descente rapide du Mont Blanc.

Enfin, le graphique 30 donnera les observations suivantes, faites sur M. de Goumoëns :

22 août 1899, après repos de 2 heures, consécutif à une descente rapide du Mont Blanc.

29 août 1900, à 7 heures du soir, le sujet étant monté au Mont Blanc le matin et à la Grande Bosse l'après-midi.

Les observations obtenues dans ces conditions donnent des chiffres moyens, compris entre les autres sur les graphiques, et montrant ainsi qu'un repos assez court suffit pour faire retourner à la normale la fréquence respiratoire, accélérée d'abord par la marche dans les hautes régions, et qu'un exercice violent ne change pas sensiblement le régime physiologique de l'homme déjà acclimaté au Mont Blanc.

Effet de l'acclimatement. — *Sujet non entraîné*, M. DE GOUMOENS. — Le tableau 38 et les graphiques 30 et 35 montrent comment s'est conduit le sujet non entraîné. Il s'est produit d'abord brusquement, pendant l'ascension, une grande diminution de la fréquence respiratoire; ensuite, pendant deux jours, une autre diminution, causée sans doute par le mal de montagne. La fréquence est ensuite remontée assez brusquement et a continué à s'élever jusqu'à la fin du séjour. A la descente, elle est revenue, brusquement, à peu près à la normale.

Le tableau 39 traduit en chiffres le graphique 35 et indique la proportion de la variation à la fréquence respiratoire.



L ascension a produit une diminution rapide de la fréquence respiratoire

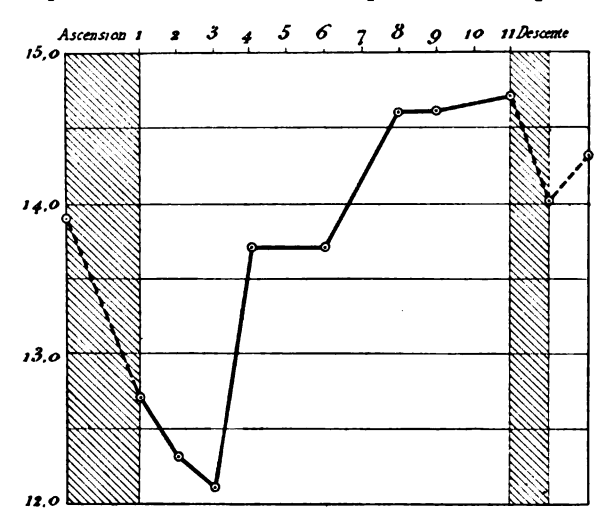


FIG. 35. — Nombre d'inspir. par min., chez M. DE GOUMOENS. Moy. des deux expéditions pour chaque jour successif depuis l'arrivée au Mont Blanc.

de — 9 pour cent de la fréquence normale. On observe ensuite une dimi-

JOURS depuis l'arrivée	1899	1900	MOYENNE
1	(11,0)*	14,4	(12,7)*
2	10,6	14,0	12,3
3	9,9	14,3	12,1
4	12,2	15,3	13,7
5	»	»	»
6	12,2	15,1	13,7
7	(12,4)	(15,4)	»
8	(12,6)	16,5	(14,6)
9	12,8	16,3	14,6
10	»	»	»
11	13,2	16,2	14,7
12	»	15,6	»
13	»	»	»
14	»	»	»
15	»	15,8	»

38. — Nombre des inspirations par minute, chez M. de GOUMOENS. Moyenne de chaque journée depuis l'arrivée au Mont Blanc.

* Les chiffres entre parenthèses résultent de trois chiffres observés et un interpolé.

nution de — 4 pour cent, due sans doute au mal de montagne, mais l'acclimatement produit une énorme augmentation de 19 pour cent. Au total,

	FRÉQUENCE respiratoire par minute	VARIATION	FRACTION de l'augmentation totale	FRACTION décimale de la fréquence normale
CHAMONIX, *avant le départ.*	13,9			
MONT BLANC, *à l'arrivée.*	12,7			
Effet rapide de l'ascension.		— 1,2	— 1,5	— 0,09
MONT BLANC, *deux jours plus tard.*	12,1			
Effet du mal de montagne (?)		— 0,6	— 0,8	— 0,04
MONT BLANC, *à la fin du séjour.*	14,7			
Effet graduel de l'acclimatement.		2,6	3,2	0,19
Augmentation totale au-dessus de la normale.		0,8	1,0	0,06
CHAMONIX, *à l'arrivée.*	14,0			
Effet rapide de la descente.		— 0,7	— 0,9	0,05

39. — Nombre d'inspirations par minute, chez M. DE GOUMOENS. Effets de l'ascension, du séjour et de la descente.

à la fin du séjour, la fréquence respiratoire se trouve augmentée de 6 pour cent de la fréquence normale.

La forte diminution qui se produit pendant l'ascension ne manquera pas de surprendre. Si l'on se reporte au graphique 30, on voit que cette diminution, très forte en 1899, a été au contraire assez faible en 1900. La forme de la courbe de 1899 est telle, qu'on peut se demander si l'intensité de la

JOURS	1899	1900	MOYENNE générale
1, 2, 3,	10,3*	14,2	12,3
4, 5, 6,	12,2*	15,2*	13,7
7, 8, 9,	12,8**	16,4*	14,6
10, 11, 12,	13,2**	15,9*	14,6
13, 14, 15.	»	15,8**	»

40. — Nombre d'inspirations par minute, chez M. DE GOUMOENS. Moyenne par trois jours successifs, au Mont Blanc.

* Moyenne d'après deux jours seulement.

** Un seul jour.

diminution à cette époque ne serait pas accidentelle. Il faut remarquer toutefois que la diminution existe encore en 1900, bien que faible ; l'ascension a donc causé bien réellement une diminution chez le sujet non entraîné, tandis qu'elle a causé une augmentation chez le sujet entraîné, alors que les phénomènes consécutifs sont les mêmes chez les deux sujets.

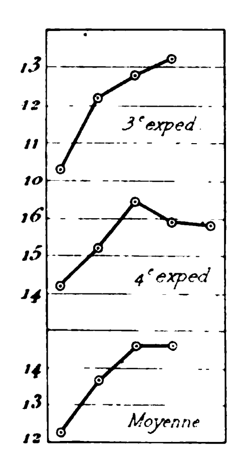


FIG. 36.—Nombre d'inspir. par min. chez M. DE GOUMOENS. Moy. par trois jours successifs, au Mont Blanc.

Le tableau 40 et le graphique 36 donnent une autre représentation du phénomène. Chaque point est la moyenne de trois jours successifs dans chacune des deux expéditions. En bas, se trouve la moyenne. Ce graphique montre que l'augmentation de la fréquence respiratoire s'est produite avec une grande intensité dans les deux expéditions.

Ces expériences viennent lever les doutes qui avaient été indiqués par suite de la courbe descendante d'une des expéditions chez le premier sujet. La réunion des expériences des deux sujets donne cinq courbes ascendantes sur six ; il est donc probable que l'acclimatement a pour effet réel d'augmenter la fréquence respiratoire, l'expérience divergente constituant sans doute une exception pathologique, comme je l'ai indiqué plus haut.

VENTILATION RÉELLE PAR INSPIRATION

La ventilation par inspiration est la quantité d'air introduite dans le poumon à chaque inspiration. C'est le quotient de la ventilation par le nombre d'inspirations, pendant l'unité de temps. La marche des deux facteurs étant connue et les corrections nécessaires ayant été faites sur chacun d'eux, il suffit de calculer ce quotient à l'aide des chiffres obtenus, qui sont déjà corrigés de la variation diurne, et il est inutile de se livrer à l'étude du détail. On s'est donc borné à calculer la moyenne de chaque journée, qu'on trouvera au tableau 5, colonne *k*.

Au point de vue de la variation diurne, on trouvera d'autre part les élé-

ments d'étude tableau 41 et graphique 37. La figure permet de se rendre compte que la ventilation par inspiration est largement influencée par les repas, mais à des degrés différents, selon la station.

HEURE	MONT BLANC — LITRES par inspiration	CHAMONIX — LITRES par inspiration	PARIS — LITRES par inspiration
6	0,518	»	0,540
7	0,548	0,572	»
8	0,582	0,535	0,512
9	0,513	0,582	0,595
10	»	0,534	0,540
11	0,497	»	»
Midi	0,502	0,530	0,565
1	0,613	0,571	0,649
2	0,545	0,568	»
3	0,544	»	»
4	0,519	0,550	»
5	0,480	0,575	0,607
6	0,493	0,545	»
7	0,468	0.526	0,583
8	0,575	0,551	0,626
9	0,535	0,526	»
10	0,514	0,618	0,590
11	0,475	»	0,571
Minuit	»	0,522	»

41. — Variation diurne de la ventilation réelle par inspiration, chez M. Vallot. Litres d'air pour une inspiration, ramenés à 36° et à la pression du lieu.

On a vu au graphique 4 que la variation diurne de la ventilation réelle est à peu de chose près semblable aux trois stations, et que cette variation est sous l'influence étroite des repas ; cette valeur étant liée par un rapport à la fréquence respiratoire et à la ventilation par inspiration, il en résulte que ces deux dernières quantités sont dépendantes l'une de l'autre, et que si l'une ne varie pas, l'autre doit varier suffisamment pour pouvoir donner les variations de la ventilation réelle. Les graphiques 26 et 37 montrent dans quelles proportions se produisent ces variations. Au Mont Blanc et à Paris, où la fréquence respiratoire n'a pas montré de variations systématiques marquées, la ventilation par inspiration augmente pendant les repas d'une manière remarquable. Au contraire, à Chamonix où le nombre d'inspirations semble être sous l'influence des repas, la variation de la ventila-

tion par inspiration ne présente que des variations beaucoup moins importantes.

Ces graphiques font ressortir ce fait que, pour la variation diurne, les deux facteurs de la respiration se complètent. Ce qu'un des éléments ne fait pas, l'autre le fait, de sorte que la variation se produit toujours. Cependant il semble y avoir prédominance de variation dans la ventilation, le nombre des inspirations ayant plutôt des tendances à rester plus fixe. C'est donc, en général, par la *profondeur* des inspirations que se produit la variation diurne, mais parfois aussi le *nombre* des inspirations peut y contribuer largement.

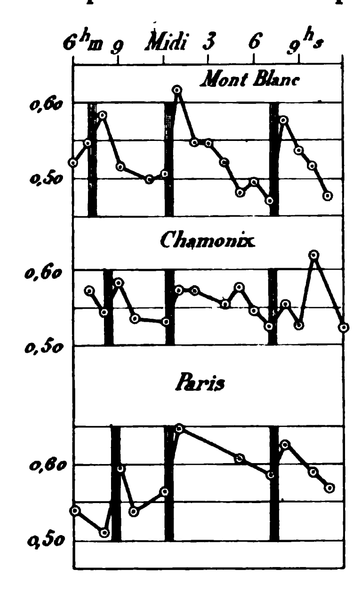


FIG. 37. — Moy. de la variat. diurne de la ventil. réelle par inspir., chez M. VALLOT. Lit. d'air pour une inspir., à 36° et à la press. du lieu.

L'amplitude de la variation au cours de la journée s'est trouvée chez moi de 0,15 lit. au Mont Blanc, c'est-à-dire d'un quart de la variation maxima de 0,14 lit. à Paris, et de 0,09 lit. seulement à Chamonix, où la variation de la fréquence respiratoire est entrée en jeu.

Influence de l'altitude. — *Sujet entraîné*, M. VALLOT. — On trouvera dans le tableau 5, colonne k, la moyenne pour chaque jour de la ventilation réelle par inspiration. Ces moyennes sont figurées sur le graphique 38.

On pourrait répéter ici ce qui a été dit plus haut, à propos des rapports qui lient la ventilation par inspiration à la fréquence respiratoire. Ici, aussi, on doit trouver la contrepartie des résultats donnés par le nombre des ins-

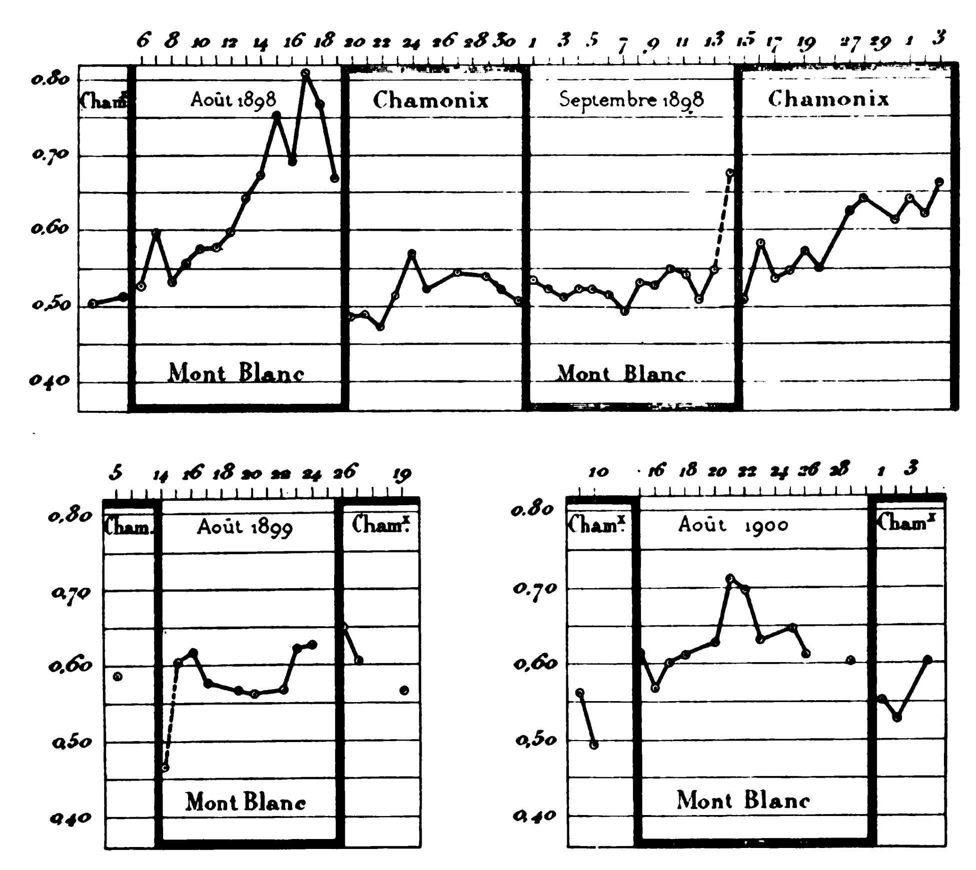


Fig. 38. — Moyenne, pour chaque journée, de la ventilation réelle par inspiration, chez M. Vallot. Lit. d'air par inspir., à 36° et à la press. du lieu.

pirations. La première et la quatrième expéditions n'ayant donné que peu de variations (graphique 28) pour la fréquence respiratoire, les variations de la ventilation par inspiration doivent être considérables, et c'est ce qu'on peut constater en effet. C'est le contraire pour les deux autres expéditions. Mais il est bon de traduire ces résultats en moyennes.

On a calculé, d'une part, la moyenne générale de chaque expédition au Mont Blanc ; d'autre part, celle des déterminations qui ont été faites avant et après, à Chamonix. On a réuni ces moyennes dans le tableau 42, où l'on

trouve inscrites aussi les différences de la ventilation par inspiration aux deux stations. Le graphique 39 traduit le tableau précédent et montre à la

ANNÉE	STATION	LITRES par inspiration	DIFFÉRENCE en s'élevant	DIFFÉRENCE en descendant
1898	Chamonix	0,51	+ 0,13	
—	Mont Blanc	0,64		— 0,12
—	Chamonix	0,52	+ 0,01	
—	Mont Blanc	0,53		+ 0,06
—	Chamonix	0,59		
1899	Chamonix	0,59	0,00	
—	Mont Blanc	0,59		+ 0,04
—	Chamonix	0,63		
1900	Chamonix	0,53	+ 0,10	
—	Mont Blanc	0,63		— 0,07
—	Chamonix	0,56		
	Moyenne		+ 0,06	— 0,02

42. — Ventilation réelle par inspiration, chez M. Vallot. Moyenne de chaque expédition. Litres d'air pour une inspiration, à 36° et à la pression du lieu.

fois les variations de la ventilation réelle par inspiration et le rapport de ces variations avec la grandeur de la ventilation. Tous ces éléments présentent des variations assez considérables, même à Chamonix, où l'on voit la ventilation par inspiration varier de 0,63 lit. à 0,52 lit., ce qui donne une différence de 0,11 lit. pour des déterminations moyennes faites à la même station à différentes époques. Au Mont Blanc, la ventilation réelle par inspiration a varié de 0,64 lit. à 0,53 lit., ce qui donne une différence de 0,11 lit. sensiblement égale.

L'examen en détail du tableau et du graphique est loin de faire ressortir un rapport fixe entre les déplacements en altitude et les variations de la ventilation réelle par inspiration. La différence en s'élevant est tantôt nulle, tantôt considérable. En descendant, les chiffres sont tantôt positifs, tantôt négatifs. Le graphique décèle une grande augmentation en montant pour la première et la quatrième expédition, et aucune augmentation pour les deux autres.

La moyenne de la ventilation réelle par inspiration a été de 0,56 lit. à Chamonix et de 0,60 lit. au Mont Blanc; la différence moyenne de 0,04 lit. est trop faible, comme on le voit, pour qu'on puisse poser une règle générale, et l'on ne peut pas dire que la profondeur de l'inspiration soit un élément constant d'acclimatement. Mais si l'on compare cet élément à la fréquence des inspirations, on tirera des conclusions d'un grand intérêt. On trouvera réunies sur le graphique 40 les variations du nombre d'inspirations et de la ventilation réelle par inspiration. Ce graphique fait ressortir de la manière la plus complète le balancement qui existe entre les deux phénomènes. Dans la première, la troisième et la quatrième expédition, le nombre d'inspirations n'ayant que peu augmenté, la ventilation par inspiration augmente d'une manière considérable. Dans la deuxième expédition, au contraire, l'augmentation ayant été très forte au Mont Blanc pour le nombre d'inspirations, la ventilation par inspiration est demeurée à peu près stationnaire.

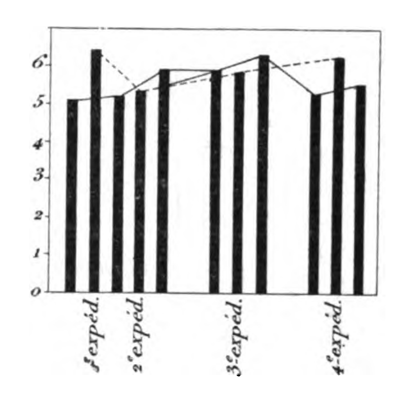


FIG. 39. — Ventil. réelle par inspir., chez M. VALLOT. Moy. de chaque expédition. Lit. d'air pour une inspir. à 36° et à la press. du lieu.
—— Chamonix – – – – – Mont Blanc

Le même balancement se remarque pour les variations en un même lieu. Ainsi, à Chamonix, le nombre des inspirations ayant beaucoup diminué après la deuxième expédition, la ventilation par inspiration a augmenté; le même fait se produit, quoique moins intense, après la troisième et la quatrième expédition.

Le balancement entre les deux phénomènes étant complet, on n'a plus qu'à rechercher quel est celui qui prime l'autre. Les observations ne donnent pas de résultats décisifs à cet égard; cependant, il semble que la variation de la ventilation par inspiration, qui est presque toujours plus considérable, soit le phénomène principal, celle de la fréquence respiratoire, beaucoup moins variable, étant plutôt accessoire et destinée à compléter l'autre au besoin.

Sujet non entraîné, M. DE GOUMOENS. — On trouvera dans le tableau 5, colonne *k*, pour chaque jour, la ventilation réelle par inspiration. Ces résultats sont figurés sur le graphique 41.

Malgré de grandes irrégularités, on peut constater chez ce sujet le balancement entre la fréquence des inspirations et la ventilation par inspiration. Ainsi, dans la troisième expédition, où la fréquence des inspirations était faible, la ventilation par inspiration était très forte ; le contraire se produit dans la quatrième expédition.

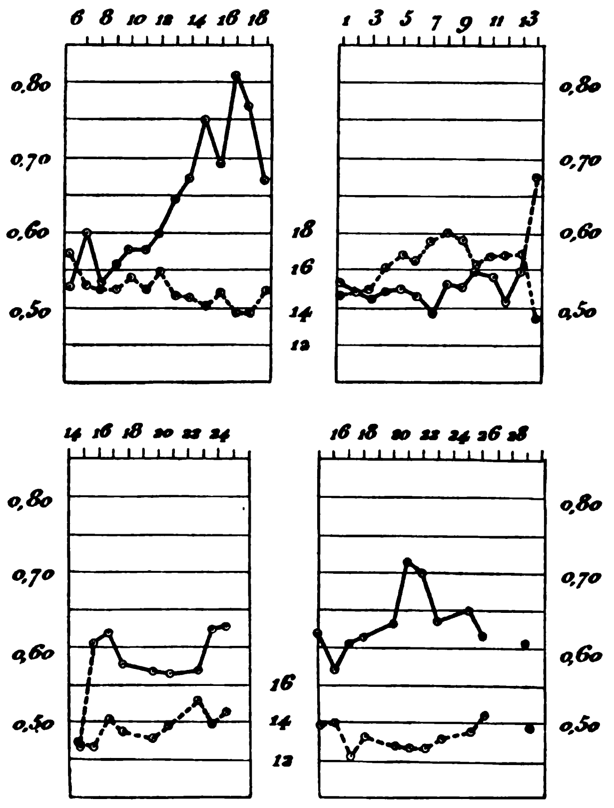


Fig. 40. — Comparaison de la ventilation par inspiration et du nombre d'inspirations réelles, chez M. Vallot.

——— Ventilation réelle par inspiration.
– – – Nombre d'inspirations par minute.

On a réuni les moyennes dans le tableau 43, ainsi que les différences. On remarquera que, comme pour la ventilation réelle, l'abaissement à la descente est très faible, et ce n'est que plus tard que la ventilation revient à son taux habituel, qui est ajouté entre parenthèses. Le graphique 42 traduit le tableau précédent, avec le retour au taux habituel exprimé par une colonne en grisé.

Tous ces éléments présentent des variations considérables, même à Cha-

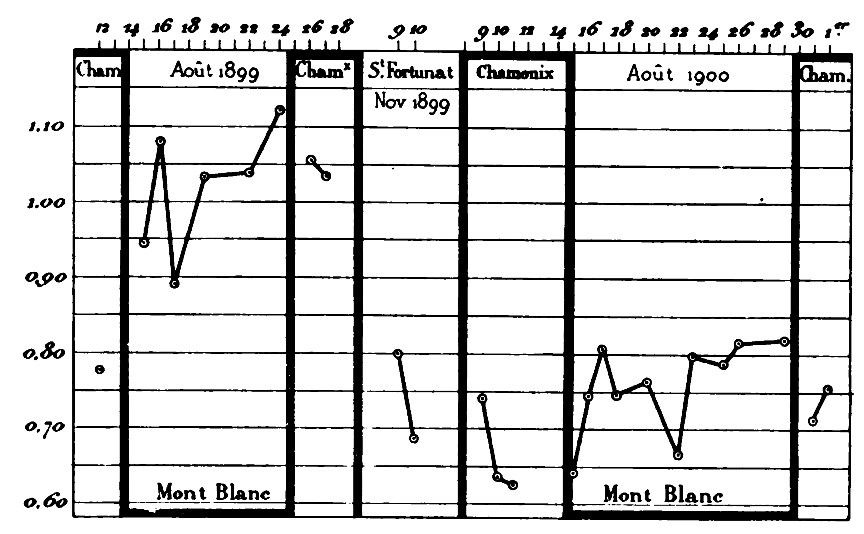


Fig. 41. — Moyenne, pour chaque journée, de la ventilation réelle par inspiration, chez M. de Goumoens. Lit. d'air pour une inspir., à 36° et à la press. du lieu.

monix, où l'on voit la ventilation par inspiration varier de 0,67 lit. à 1,04 lit., ce qui donne une différence de 0,37 lit. pour des déterminations faites

ANNÉE	STATION	LITRES par inspiration	DIFFÉRENCE en s'élevant	DIFFÉRENCE en descendant
1899	Chamonix	0,78	+ 0,24	
—	Mont Blanc	1,02		+ 0,02
—	Chamonix	1,04		
—	[Chamonix]	[0,78]		[— 0,26]
1900	Chamonix	0,67	+ 0,09	
—	Mont Blanc	0,76		— 0,03
—	Chamonix	0,73		
—	[Chamonix]	[0,67]		[— 0,06]
	Moyenne		+ 0,17	— 0,01 [— 0,16]

43. — Ventilation réelle par inspiration, chez M. de Goumoens. Moy. de chaque expédition. Litres d'air pour une inspiration, ramenés à 36° et à la pression du lieu.

à la même station à différentes époques. Au Mont Blanc, la ventilation

réelle par inspiration a varié de 0,76 lit. à 1,02 lit., ce qui donne une différence de 0,26 lit.

La ventilation s'est montrée notablement plus élevée au Mont Blanc dans les deux expériences, comme on l'a vu à plusieurs reprises sur l'autre sujet. La moyenne de la ventilation réelle par inspiration a été de 0,75 lit. à Chamonix avant le départ et de 0,89 lit. au Mont Blanc; la différence moyenne, 0,14 lit., est considérable et témoigne d'une grande augmentation de la ventilation au Mont Blanc. D'un autre côté, la ventilation à Chamonix, aussitôt après la descente, est aussi de 0,89 lit., égale à celle du Mont Blanc, faisant ressortir le peu d'élasticité de la fonction chez le sujet, qui a besoin d'un certain temps pour reprendre ses habitudes, même en descendant.

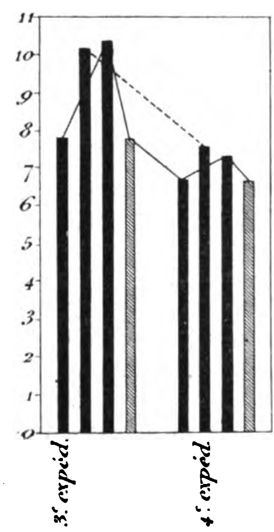


Fig. 42. — Ventil. réelle par inspir., chez M. de Gouмoens. Lit. d'air pour une inspir. à 36° et à la press. du lieu.
—— Cham. — — — Mont Blanc

Chez ce sujet, les variations de la ventilation par inspiration sont de beaucoup prépondérantes, la fréquence respiratoire variant très peu avec l'altitude. J'ai insisté plus haut sur le balancement entre ces deux fonctions.

On peut conclure de l'ensemble des observations sur les deux sujets que *l'augmentation de la ventilation réelle au Mont Blanc est produite principalement par l'augmentation de la ventilation par inspiration*, la fréquence respiratoire ne produisant ses effets qu'en seconde ligne.

Effet de l'acclimatement. — *Sujet entraîné*, M. J. Vallot. — On a réuni dans le tableau 44 la moyenne de chaque jour successif, depuis l'arrivée, pour chaque expédition, ainsi que les moyennes des quatre expéditions. Le détail des diverses expériences est figuré sur le graphique 38 et la moyenne est figurée sur le graphique 43.

L'inspection du graphique 38 n'apprend pas grand'chose sur les effets de l'acclimatement, par suite de la grande irrégularité des tracés ; il semble y avoir cependant augmentation de la ventilation par inspiration pendant le séjour. Mais la moyenne des quatre expéditions, figurée sur le graphique 43, est beaucoup plus instructive.

Cette moyenne se montre assez régulière. Variant très peu pendant les premiers jours, elle augmente ensuite graduellement jusqu'à la fin du séjour.

JOURS depuis l'arrivée	1898 AOUT	1898 SEPTEMBRE	1899	1900	MOYENNE
1	0,527	0,535	[0,465]**	0,612	0,560
2	0,595	0,523	0,605	0,564	0,573
3	0,530	0,510	0,616	0,600	0,564
4	0,556	0,522	0,574	0,610	0,564
5	0,577	0,523	»	»	»
6	0,577	0,515	0,564	0,627	0,571
7	0,598	0,494	0,561	0,711	0,590
8	0,644	0,523	(0,564)*	0,696	(0,608)
9	0,672	0,528	0,566	0,630	0,599
10	0,753	0,550	0,620	(0,638)	(0,639)
11	0,690	0,542	0,624	0,646	0,625
12	0,810	0,508	(0,624)	0,612	(0,638)
13	0,768	0,550	»	»	»
14	0,669	[0,675]**	»	»	»
15	»	»	»	0,600	»

44. — Ventilation réelle par inspiration, chez M. Vallot. Moy. de chaque journée depuis l'arrivée au Mont Blanc. Lit. d'air pour une inspir., à 36° et à la pression du lieu.

On a vu plus haut précisément le contraire pour la fréquence respiratoire.

Ainsi, pendant que la fréquence respiratoire augmentait graduellement,

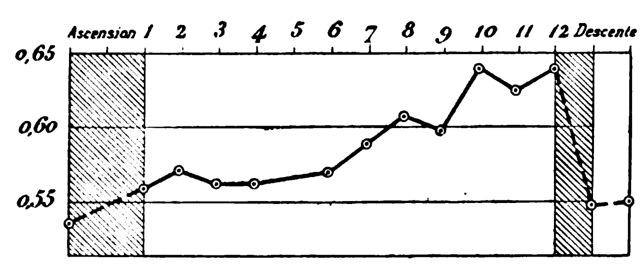


Fig. 43. — Ventilation réelle par inspiration, chez M. Vallot. Moy. des quatre expéditions pour chaque jour successif depuis l'arrivée au Mont Blanc. Lit. d'air pour une inspir., ramenés à 36° et à la pression du lieu.

les premiers jours, la ventilation réelle par inspiration restait stationnaire ;

* Les chiffres entre parenthèses sont interpolés. Les moyennes entre parenthèses résultent de trois chiffres observés et un chiffre interpolé.

** Les chiffres entre crochets sont rejetés et n'entrent pas dans le calcul de la moyenne.

plus tard, la fréquence respiratoire n'augmentant plus, la ventilation l'a remplacée et s'est mise à augmenter à son tour, pour compléter l'acclimatement.

	VENTILATION en litres par min.	VARIATION totale	FRACTION de l'augmentation totale	FRACTION décimale de la ventilation normale
CHAMONIX, *avant le départ.*	0,54			
MONT BLANC, *à l'arrivée.*	0,56			
Effet rapide de l'ascension.		+ 0,02	0,2	0,04
MONT BLANC, *à la fin du séjour.*	0,64			
Effet graduel de l'acclimatement.		+ 0,08	0,8	0,15
Augmentation totale.		+ 0,10	1,0	0,19
CHAMONIX, *à l'arrivée.*	0,55			
Effet rapide de la descente.		— 0,09	— 0,9	— 0,17

45. — Ventilation réelle par inspiration, chez M. VALLOT. Effets de l'ascension, du séjour et de la descente. Lit. d'air pour une inspir., à 36° et à la pression du lieu.

On voit encore le balancement que j'ai déjà fait ressortir. Toutefois, il ne faudrait pas croire que les deux phénomènes se balancent au point de se neutraliser ; ils s'ajoutent dans une certaine mesure, leur somme algébrique est positive, de plus en plus grande à mesure que le séjour se prolonge, et elle concourt dans une grande mesure à l'acclimatement.

JOURS	1898 août	1898 septembre	1899	1900	MOYENNE générale
1, 2, 3,	0,551	0,528	0,611*	0,591	0,563
4, 5, 6,	0,570	0,520	0,569*	0,619*	0,565
7, 8, 9,	0,638	0,515	0,564*	0,679	0,602
10, 11, 12,	0,751	0,533	0,622*	0,629*	0,636
13, 14.	0,719*	0,550**	»	0,600**	0,647*

46. — Ventilation réelle par inspiration, chez M. VALLOT. Moy. par trois jours successifs, au Mont Blanc. Lit. d'air pour une inspiration, à 36° et à la pression du lieu.

Ici, contrairement à ce qui s'observe dans les autres phénomènes, on ne voit, les premiers jours, aucune baisse pouvant être attribuée au mal de montagne.

* Moyenne d'après deux jours seulement.

** Un seul jour.

Du tableau 44, on tire le tableau 45, qui traduit en chiffres les parties principales du graphique 43.

On tire de ce tableau les conséquences suivantes:

1° L'augmentation immédiate, causée par l'ascension, est faible de 0,04 lit. seulement.

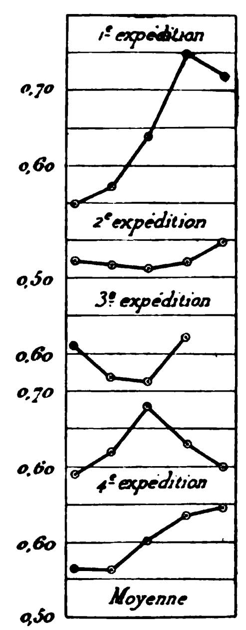


FIG. 44. — Ventil. réelle par inspir., chez M. VALLOT. Moy. par trois jours successifs au Mont Blanc. Lit. d'air pour une inspir., à 36° et à la press. du lieu.

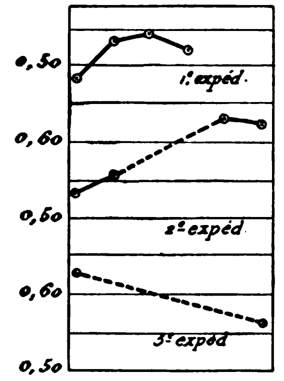


FIG. 45. — Ventil. réelle par inspir. chez M. VALLOT. Moy. par trois jours successifs, au retour à Chamonix. Lit. d'air pour une inspir., à 36° et à la press. du lieu.

2° L'augmentation causée par l'acclimatement est, au contraire, assez grande et atteint 0,15 lit., ce qui cause une augmentation totale de 0,19 lit., soit le cinquième de la ventilation par inspiration habituelle.

3° Le retour à la normale a été immédiat et à peu près complet à la descente.

Le tableau 46 et le graphique 44 donnent une autre représentation du phénomène. Chaque point est la moyenne de trois jours successifs dans cha-

cune des quatre expéditions. En bas, se trouve la moyenne générale. Ce graphique met en relief les inégalités du phénomène et l'augmentation qui

JOURS depuis l'arrivée	1898 AOUT	1898 SEPTEMBRE	1899	1900	MOYENNE des deux premiers
1	0,487	0,511	0,649	0,551	0,499
2	0,490	0,585	0,603	0,524	0,538
3	0,473	0,538	»	»	0,506
4	0,514	0,549	»	0,600	0,532
5	0,572	0,573	»	»	0,573
6	0,522	0,551	»	»	0,537
7	»	»	»	»	»
8	»	»	»	»	»
9	»	»	»	»	»
10	0,540	»	»	»	»
11	0,522	»	»	»	»
12	0,508	»	»	»	»
13	»	0,628	»	»	»
14	»	0,643	»	»	»
15	»	0,581	»	»	»
16	»	0,614	»	»	»
17	»	0,640	»	»	»
18	»	0,620	»	»	»
19	»	0,662	0,563	»	»

47. — Ventilation réelle par inspiration, chez M. Vallot. Moy. de chaque journée depuis le retour à Chamonix. Lit. d'air pour une inspir., à 36° et à la press. du lieu.

se produit habituellement au bout de quelques jours. On voit que la moyenne décèle une augmentation considérable.

JOURS	1898 août	1898 septembre	1899	1900
1, 2, 3	0,483	0,545	0,627*	0,537*
4, 5, 6	0,536	0,558	»	0,600**
7, 8, 9	0,546**	»	»	»
10, 11, 12	0,523	»	»	»
13, 14, 15	»	0,631	»	»
16, 17, 18	»	0,625	0,563**	»

48. — Ventilation réelle par inspiration, chez M. Vallot. Moy. par trois jours successifs, à Chamonix, au retour. Lit. d'air pour une inspir., à 36° et à la pression du lieu.

* Moyenne d'après deux jours seulement.
** Un seul jour.

Les tableaux 47 et 48 et le graphique 45, qui donnent la moyenne par trois jours successifs, font voir ce qui se passe à la descente. Le retour à la normale s'effectue brusquement, la diminution immédiate étant de — 0,17 lit. presque égale à l'augmentation progressive. Dans les jours qui suivent, il y a souvent augmentation temporaire, pour contrebalancer la diminution de la fréquence respiratoire signalée plus haut.

Sujet non entraîné, M. DE GOUMOENS. — Le tableau 49 et les graphiques 41 et 46 montrent comment s'est conduit le sujet non entraîné. Les

JOURS depuis l'arrivée	1899	1900	MOYENNE
1	(0,850)*	0,639	(0,746)*
2	0,944	0,743	0,844
3	1,080	0,804	0,942
4	0,893	0,745	0,819
5	»	»	»
6	1,032	0,762	0,897
7	(1,034)	(0,709)	»
8	(1,036)	0,667	(0,852)
9	1,038	0,796	0,917
10	»	»	»
11	1,122	0,786	0,954
12	»	0,814	»
13	»	»	»
14	»	»	»
15	»	0,818	»

49. — Ventilation réelle par inspiration, chez M. DE GOUMOENS. Moy. de chaque journée depuis l'arrivée au Mont Blanc. Lit. d'air pour une inspir., à 36° et à la pression du lieu.

chiffres ont été irréguliers, comme toujours chez ce sujet, mais ils montrent une augmentation notable du commencement à la fin du séjour. Cette augmentation a été très rapide les premiers jours, où la fréquence respiratoire se trouvait en baisse importante. Ici encore, on voit le balancement entre les deux phénomènes. Comme pour l'autre sujet, on ne voit aucune baisse pouvant être attribuée au mal de montagne.

A la descente, il n'y a pas retour immédiat à la normale, comme chez

* Les chiffres entre parenthèses sont interpolés. Les moyennes entre parenthèses résultent de trois chiffres observés et un chiffre interpolé,



moi, mais seulement diminution relative, par suite de la difficulté que paraît éprouver le sujet à modifier ses fonctions rapidement.

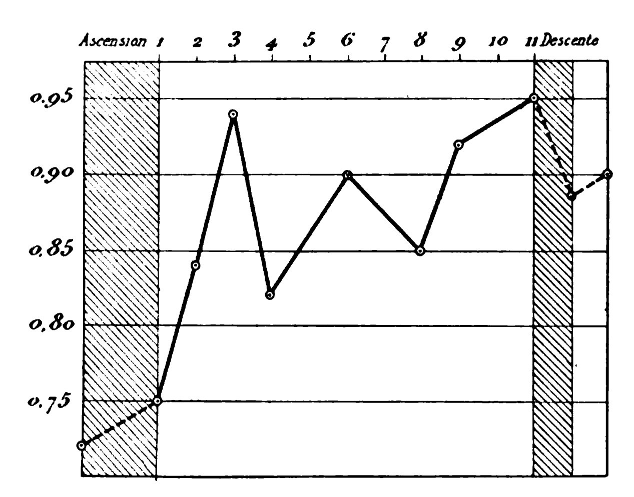


FIG. 46. — Ventil. réelle par inspir. chez M. DE GOUMOENS. Moy. des deux expéditions pour chaque jour successif depuis l'arrivée au Mont Blanc. Lit. inspir. par min., à 36° et à la press. du lieu.

Le tableau 50 traduit en chiffres la figure 46 et indique la proportion de la variation à la ventilation par inspiration.

	VENTILATION en litres par min.	VARIATION	FRACTION de l'augmentation totale	FRACTION décimale de la ventilation normale
CHAMONIX, *avant le départ.*	0,72			
MONT BLANC, *à l'arrivée.*	0,75			
Effet rapide de l'ascension.		+ 0,03	0,1	0,04
MONT BLANC, *à la fin du séjour.*	0,95			
Effet graduel de l'acclimatement.		+ 0,20	0,9	0,28
Augmentation totale.		0,23	1,0	0,32
CHAMONIX, *à l'arrivée.*	0,88			
Effet rapide de la descente.		— 0,07	— 0,3	— 0,10

50. — Ventilation réelle par inspiration, chez M. de GOUMOENS. Effets de l'ascension, du séjour et de la descente. Lit. d'air pour une inspir., à 36° et à la pression du lieu.

On tire de ce tableau les conséquences suivantes :

1° L'augmentation immédiate causée par l'ascension est faible, de 0,04 lit. seulement.



2° L'augmentation causée par l'acclimatement est considérable et atteint 0,28 lit., ce qui cause une augmentation totale de 0,32 lit., soit un tiers de la ventilation par inspiration habituelle.

JOURS	1899	1900	MOYENNE générale
1, 2, 3,	1,012*	0,729	0,871
4, 5, 6,	0,963*	0,754*	0,859
7, 8, 9.	1,038**	0,732*	0,885
10, 11, 12,	1,122**	0,800*	0,961
13, 14, 15.	»	0,818**	»

51. — Ventilation réelle par inspiration chez M. DE GOUMOENS. Moy. de chaque journée depuis l'arrivée au Mont Blanc. Lit. d'air pour une inspir., à 36° et à la press. du lieu.

3° Le retour à la normale n'est pas immédiat à la descente ; il ne se produit d'abord qu'une baisse d'un tiers de la montée, l'abaissement total se produisant plus tard.

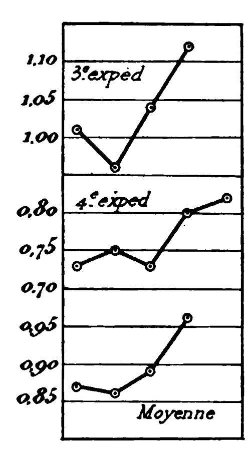


FIG. 47. — Ventil. réelle par inspir., chez M. DE GOUMOENS. Moy. par trois jours successifs, au Mont Blanc. Lit. d'air pour une inspir., à 36° et à la press. du lieu.

Les deux premières conclusions sont les mêmes que chez le sujet entraîné.

Le tableau 51 et le graphique 47 donnent une autre représentation du

* Moyenne d'après deux jours seulement.
** Un seul jour.

phénomène. Chaque point est la moyenne de trois jours successifs dans chacune des expéditions. En bas, se trouve la moyenne générale. Ce graphique montre l'augmentation rapide qui s'est produite dans chacune des expéditions.

En résumé, l'ensemble des expériences faites sur les deux sujets montre que le séjour au Mont Blanc cause une grande augmentation de la ventilation réelle par inspiration.

VENTILATION ABSOLUE

Influence de l'altitude. — *Sujet entraîné*, M. Vallot. — On considérera maintenant la ventilation absolue, c'est-à-dire réduite à 0° et à la pression de 0,760 m. L'étude de la ventilation réelle ne dispense pas de celle de la ventilation absolue, car ici les différences seront nécessairement plus grandes. En effet, même dans le cas où la ventilation réelle n'a présenté aucune variation, la différence des pressions aux deux stations produit dans la ventilation absolue une diminution considérable; il faut donc connaître la perte que l'organisme subit de ce chef et la somme d'efforts qu'il produit pour y suppléer par l'acclimatement.

La marche de l'étude est la même que pour la ventilation réelle. Le tableau 5, colonne *l*, donne les moyennes diurnes de la ventilation pulmonaire ramenée à 0° et à 0,760 m., et le graphique 48 figure ces moyennes.

Ce graphique montre une diminution brusque de la ventilation absolue, causée par la diminution de la pression atmosphérique, et ensuite des variations assez irrégulières, avec tendance à l'ascension pendant le séjour. Pour se rendre compte de la diminution au Mont Blanc, on a calculé la moyenne générale de chaque expédition au Mont Blanc et des déterminations qui ont été faites avant et après à Chamonix. On a réuni ces moyennes dans le tableau 52, avec les différences de la ventilation absolue par inspiration aux deux stations.

On voit que, chaque fois qu'on a habité la station supérieure, la ventilation absolue a diminué, pour augmenter ensuite à la station inférieure. On peut en conclure que *l'augmentation de l'altitude cause une diminution*

de la ventilation absolue. Le graphique 49 traduit le tableau précédent et montre à la fois les variations de la ventilation absolue et le rapport de ces variations avec la grandeur de la variation. Tous ces éléments présentent des variations considérables, même à Chamonix, où l'on voit la ventilation absolue varier de 0,48 lit. à 0,39 lit., ce qui donne une différence de 0,09 lit. pour la ventilation obtenue à la même station à différentes époques. Au Mont Blanc, la ventilation a varié de 0,33 lit. à 0,27 lit., ce qui donne une différence de 0,06 lit. seulement, beaucoup moins grande.

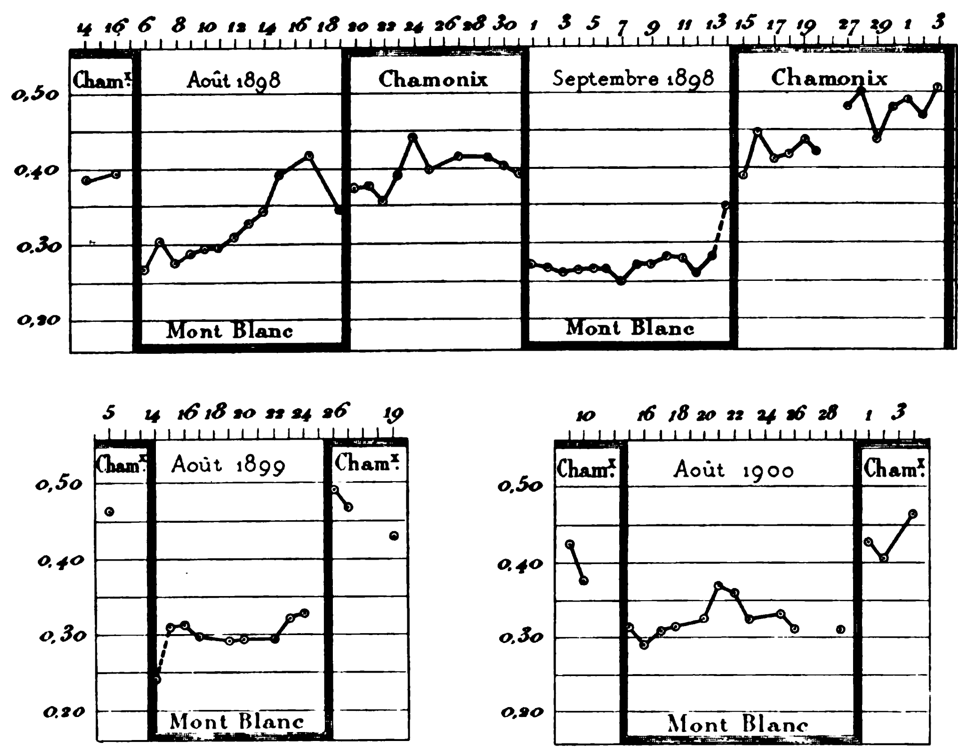


FIG. 48. — Moyenne, pour chaque journée, de la ventilation absolue par inspiration, chez M. VALLOT. Litres d'air pour une inspiration à 0° et à 0,760 m.

La moyenne de la ventilation absolue a été de 0,43 lit. à Chamonix et de 0,31 lit. au Mont Blanc.

Les chiffres exprimant la diminution de la ventilation absolue à la station élevée sont assez variables et compris entre — 0,06 lit. et — 0,15 lit. La moyenne a été de 0,11 lit. La différence en descendant s'est trouvée de 0,13 lit.

Sujet non entraîné, M. DE GOUMOENS. — Les choses se sont passées à peu près de la même façon chez M. de Goumoëns, comme on peut le voir sur le graphique 50, mais avec variations plus irrégulières.

ANNÉE	STATION	VENTILATION par inspiration	DIFFÉRENCE en s'élevant	DIFFÉRENCE en descendant
1898	Chamonix	0,39	— 0,06	
—	Mont Blanc	0,33		+ 0,07
—	Chamonix	0,40	— 0,13	
—	Mont Blanc	0,27		+ 0,18
—	Chamonix	0,45		
1899	Chamonix	0,46	— 0,15	
—	Mont Blanc	0,31		+ 0,17
—	Chamonix	0,48		
1900	Chamonix	0,40	— 0,08	
—	Mont Blanc	0,32		+ 0,11
—	Chamonix	0,43		
	Moyenne		— 0,11	+ 0,13

52. — Ventilation absolue par inspiration, chez M. VALLOT. Moyenne de chaque expédition. Litres d'air pour une inspiration, ramenés à 0° et à 0,760 m.

Il y a cependant une différence notable au retour, où, la ventilation augmentant brusquement au-dessus de l'état final autant qu'elle avait diminué,

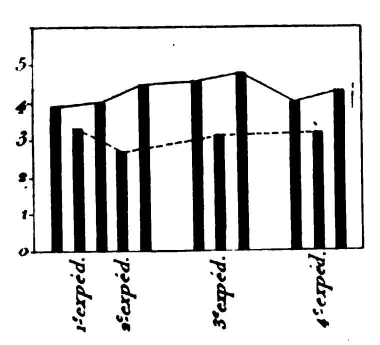


FIG. 49. — Ventil. absolue par inspir., chez M. VALLOT. Moy. de chaque expédition. Lit. d'air pour une inspir. à 0° et à 0,760 m. ——— Chamonix — — — Mont Blanc.

son taux se trouve beaucoup plus élevé qu'au départ. Cet état ne persiste pas, et la ventilation reprend son taux habituel en peu de temps.

Le tableau 53 renferme la moyenne générale de chaque expédition au

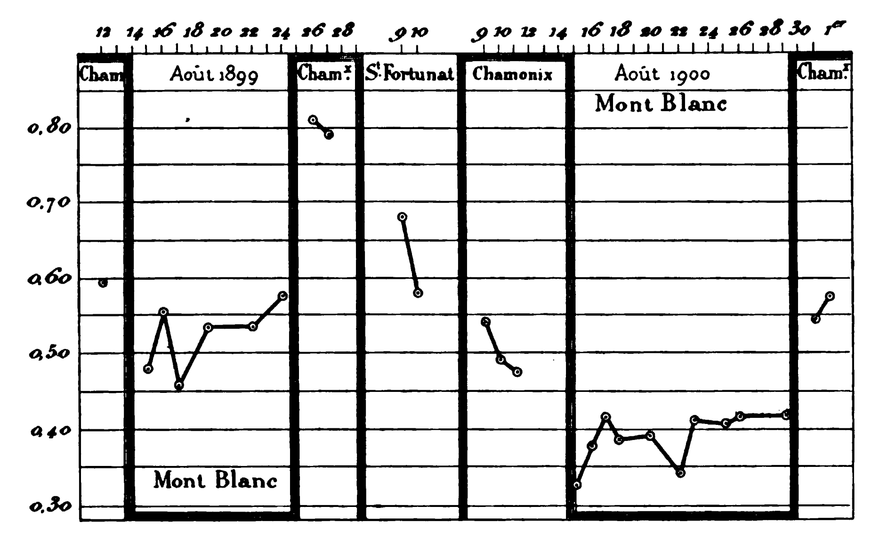


Fig. 50. — Moyenne, pour chaque journée, de la ventilation absolue par inspiration, chez M. de Goumoens. Lit. d'air pour une inspir., à 0° et à 0,760 m.

Mont Blanc et des déterminations qui ont été faites avant et après, ainsi que les différences de la ventilation absolue par inspiration aux deux sta-

ANNÉE	STATION	LITRES par inspiration	DIFFÉRENCE en s'élevant	DIFFÉRENCE en descendant
1899	Chamonix	0,60	— 0,08	
—	Mont Blanc	0,52		+ 0,28
—	Chamonix	0,80		
1900	Chamonix	0,50	— 0,11	
—	Mont Blanc	0,39		+ 0,17
—	Chamonix	,56		
	Moyenne		— 0,10	+ 0,23

53. — Ventilation absolue par inspiration, chez M. de Goumoens. Moy. de chaque expédition. Litres d'air pour une inspiration, ramenés à 0° et à 0,760 m.

tions. Le graphique 51 traduit le tableau précédent et montre à la fois les variations de la ventilation absolue et le rapport de ces variations avec la

grandeur de la variation. On y a ajouté, en grisé, la valeur normale à laquelle la ventilation à Chamonix a dû revenir au bout d'un certain temps.

On voit que, comme pour moi, l'augmentation de l'altitude a causé une diminution notable de la ventilation absolue par inspiration.

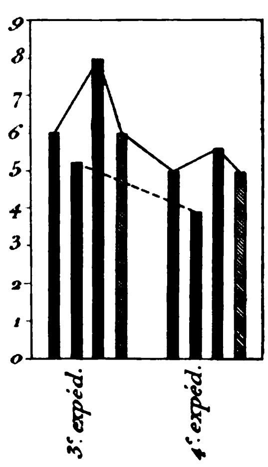


FIG. 51. — Ventil. absolue par inspir., chez M. DE GOUMOENS. Moy. de chaque expédition. Lit. d'air pour une inspir., à 0° et à 0,760 m.

A Chamonix, la ventilation absolue a varié de 0,80 lit. à 0,50 lit., ce qui donne une différence de 0,30 lit. pour la ventilation obtenue à la même station et à différentes époques. Au Mont Blanc, la ventilation a varié de 0,52 lit. à 0,39 lit., ce qui donne une différence de 0,13 lit. seulement, beaucoup moins grande.

La moyenne de la ventilation absolue a été de 0,55 lit. à Chamonix, avant le départ, et de 0,46 lit. au Mont Blanc. Les chiffres exprimant la diminution de la ventilation absolue à la station élevée sont — 0,08 lit. et — 0,11 lit. assez peu différents; leur moyenne est de — 0,10 lit. L'augmentation en descendant a été considérable, comme je l'ai indiqué, en moyenne de 0,23 lit.

Effet de l'acclimatement. — *Sujet entraîné*, M. VALLOT. — On a réuni dans le tableau 54 les moyennes de chaque jour successif, depuis l'arrivée, pour chaque expédition, ainsi que la moyenne des quatre expéditions. Le détail des diverses expéditions est figuré sur le graphique 48 et la moyenne est figurée sur le graphique 52.

Les variations sont trop irrégulières, comme on l'a vu plus haut, pour qu'on puisse en tirer des conclusions à l'inspection du graphique 48, mais la

moyenne des quatre expéditions, figurée sur le graphique 52, permet de

JOURS depuis l'arrivée	1898 AOUT	1898 SEPTEMBRE	1899	1900	MOYENNE
1	0,266	0,273	[0,240]**	0,314	0,284
2	0,304	0,268	0,310	0,290	0,293
3	0,275	0,262	0,312	0,308	0,289
4	0,288	0,267	0,298	0,313	0,292
5	0,295	0,268	»	»	»
6	0,296	0,267	0,290	0,326	0,295
7	0,308	0,250	0,292	0,368	0,303
8	0,328	0,272	(0,293)*	0,360	(0,313)*
9	0,312	0,272	0,293	0,323	0,308
10	0,391	0,283	0,321	(0,327)	0,330
11	0,352	0,280	0,327	0,330	0,325
12	0,417	0.260	(0,327)	0,309	(0,328)
13	0,394	0,283	»	»	»
14	0,344	[0,348]**	»	»	»
15	»	»	0,311	»	»

54. — Ventilation absolue par inspiration chez M. Vallot. Moyenne de chaque journée depuis l'arrivée au Mont Blanc. Lit. d'air pour une inspir., à 0° et à 0,760 m.

voir que la ventilation absolue, après la baisse brusque résultant du changement de pression, a augmenté d'une façon continue.

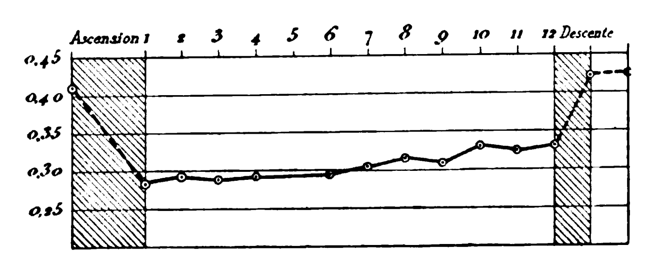


Fig. 52. — Ventil. absolue par inspir., chez M. Vallot. Moy. des quatre expéditions pour chaque jour successif depuis l'arrivée au Mont Blanc. Lit. d'air pour une inspir., à 0° et à 0,760 m.

Du tableau 54 on tirera le tableau 55, qui traduit en chiffres les parties

* Les chiffres entre parenthèses sont interpolés. Les moyennes entre parenthèses résultent de trois chiffres observés et un chiffre interpolé.

** Les chiffres entre crochets sont répétés et n'entrent pas dans le calcul de la moyenne.

principales du graphique 52 et indique la proportion de la variation à la ventilation normale.

	VENTILATION en litres par min.	VARIATION	FRACTION de diminution totale	FRACTION décimale de la ventilation normale
CHAMONIX, *avant le départ.*	0,42			
Effet rapide de l'ascension.		— 0,14	— 1,00	— 0,33
MONT BLANC, *à l'arrivée.*	0,28			
Effet graduel de l'acclimatement.		+ 0,05	+ 0,36	+ 0,12
MONT BLANC, *à la fin du séjour.*	0,33			
Effet rapide de la descente.		+ 0,09	+ 0,64	+ 0,21
CHAMONIX, *à l'arrivée.*	0,42			

55. — Ventilation absolue par inspiration, chez M. VALLOT. Effets de l'ascension, du séjour et de la descente. Lit. d'air pour une inspir., à 0° et à 0,760 m.

On tire de ce tableau les conséquences suivantes :

1° La diminution totale de la ventilation absolue par inspiration est de 33 pour cent, c'est-à-dire environ un tiers de la ventilation normale, soit exactement la diminution résultant de la différence de pression.

2° L'effet graduel de l'acclimatement produit une augmentation de ventilation qui atteint, en douze jours, 12 pour cent de la ventilation normale ou 36 pour cent de la diminution primitive, corrigeant ainsi un tiers de cette diminution.

JOURS	1898 AOUT	1898 SEPTEMBRE	1899	1900	MOYENNE générale
1, 2, 3,	0,282	0,263	0,311*	0,304	0,289
4, 5, 6,	0,293	0,267	0,294*	0,319*	0,291
7, 8, 9,	0,326	0,265	0,293*	0,350	0,310
10, 11, 12,	0,387	0,274	0,324*	0,319*	0,327
13, 14.	0,369	0,283	»	0,311**	0,333

56. — Ventilation absolue par inspiration chez M. VALLOT. Moy. par trois jours successifs, au Mont Blanc. Litres d'air pour une inspiration, à 0° et à 0,760 m.

3° Le retour à la normale a été immédiat et complet à la descente.

* Moyenne d'après deux jours seulement.
** Un seul jour.



Le tableau 56 et le graphique 53 donnent une autre représentation du phénomène. Chaque point est la moyenne de trois jours successifs dans chacune des quatre expéditions. En bas, se trouve la moyenne générale. Ce graphique met en relief les irrégularités du phénomène et l'augmentation qui se produit au bout de quelques jours.

La ventilation absolue par inspiration est plus compliquée que la ventilation réelle, car, après avoir subi une diminution brusque, elle éprouve une certaine augmentation. On peut se rendre compte de l'amélioration due à l'acclimatement par l'examen du tableau 57, qui établira, par une sorte de compte de profits et pertes, ce que la nature demande au poumon et ce qu'elle en obtient en réalité.

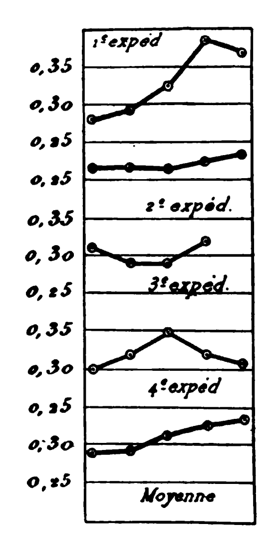


Fig. 53. — Ventil. absolue par inspir. chez M. Vallot. Moy. par trois jours successifs au Mont Blanc. Lit. d'air pour une inspir. à 0° et à 0,760 m.

Le changement de pression, lorsqu'on passe de Chamonix au Mont Blanc, diminue la ventilation absolue dans le rapport des pressions aux deux stations. La ventilation absolue par inspiration, qui était de 0,42 lit. à Chamonix, serait au Mont Blanc de 0,28 lit. C'est la ventilation théorique de cette station, pour laquelle il doit se produire une diminution théorique de 0,14 lit. C'est précisément ce qui se produit en réalité ; il n'y a eu, en moyenne, pour le sujet entraîné, ni gain pendant l'ascension produit par l'élasticité respiratoire du sujet, ni perte produite par le mal de montagne. A son arrivée au Mont Blanc, le sujet a respiré tout simplement comme en bas.

Mais alors a commencé un acclimatement lent et continu, qui arrive à faire regagner, à la fin de l'expédition, 0,05 lit. par inspiration, soit 36 pour cent ou un tiers de ce que la faible pression lui faisait perdre. Il reste encore, au bout de cette période, un déficit de — 0,09 lit. ou — 64 pour cent que l'augmentation en profondeur des inspirations n'est pas parvenu à combler, mais dont une partie peut disparaître par l'augmentation de leur nombre. Il paraît vraisemblable qu'un plus long séjour donnerait des résultats plus étendus encore.

Le tableau 57 permet aussi de se rendre compte de la fraction dont le

poumon est privé, par rapport à la ventilation normale, et de la fraction qu'il parvient à récupérer par l'acclimatement. La perte théorique au Mont Blanc est de — 33 pour cent de la normale ; c'est également la perte réelle

	VENTILATION en litres par min.	VARIATION	FRACTION de la perte totale	FRACTION décimale de la ventilation normale
CHAMONIX, *avant le départ.*	0,42			
MONT BLANC, *ventilation théorique.*	0,28			
Perte théorique.		— 0,14	— 1,00	— 0,33
MONT BLANC, *à l'arrivée.*	0,28			
Perte réelle observée.		— 0,14	— 1,00	— 0,33
Gain pendant l'ascension.		0,00	0,00	0,00
MONT BLANC, *à la fin du séjour.*	0,33			
Gain dû à l'acclimatement.		0,05	0,36	0,12
Déficit restant après onze jours.		— 0,09	— 0,64	— 0,21

57. — Ventilation absolue par inspiration, chez M. VALLOT. Résultat de l'acclimatement. Litres d'air pour une inspiration, à 0° et à 0,760 m.

à l'arrivée; elle se réduit de 12 pour cent par suite de l'acclimatement, et il reste encore, au bout de douze jours, — 21 pour cent à récupérer.

On peut tirer de tout cela les conclusions suivantes :

1° L'acclimatement graduel qui se produit à une grande altitude est dû en partie à l'augmentation de la profondeur des inspirations.

2° Cet acclimatement n'est que partiel et paraît pouvoir être plus complet par le prolongement du séjour.

On verra plus loin quelle est la part de ce facteur, comparée à la part de la fréquence respiratoire.

Au retour, la profondeur des inspirations revient immédiatement à la normale. Les tableaux 58 et 59 et le graphique 54 montrent que la profondeur a souvent augmenté pendant quelque temps après la descente, cherchant à compenser la diminution de la fréquence respiratoire à la même époque.

Enfin, si l'on veut se rendre compte de la fraction dont le poumon est privé, par rapport à la ventilation normale, et de la fraction qu'il parvient à récupérer par l'acclimatement, on voit que la perte théorique au Mont Blanc était de — 33 pour cent de la normale, la perte réelle est de

39 pour cent, puis se réduit de 31 pour cent par l'acclimatement. L'en-

JOURS depuis l'arrivée	1898 AOUT	1898 SEPTEMBRE	1899	1900	MOYENNE des deux premiers
1	0,375	0,390	0,491	0,424	0,420
2	0,377	0,447	0,466	0,402	0,423
3	0,355	0,408	»	»	»
4	0,392	0,418	»	0,460	»
5	0,442	0,437	»	»	»
6	0,348	0,422	»	»	»
7	»	»	»	»	»
8	0,417	»	»	»	»
9	»	»	»	»	»
10	0,416	»	»	»	»
11	0,403	»	»	»	»
12	0,392	»	»	»	»
13	»	0,482	»	»	»
14	»	0,500	»	»	»
15	»	0,438	»	»	»
16	»	0,480	»	»	»
17	»	0,490	»	»	»
18	»	0,470	»	»	»
19	»	0,505	0,428	»	»

58. — Ventilation absolue par inspiration chez M. Vallot. Moyenne de chaque journée depuis le retour à Chamonix. Lit. d'air pour une inspir., à 0° et à 0,760 m.

semble de ces modifications fait regagner 25 pour cent à la normale, et il ne reste plus, au bout de onze jours, que — 8 pour cent à récupérer.

JOURS	1898 août	1898 septembre	1899	1900
1, 2, 3,	0,369	0,415	0,479*	0,413*
4, 5, 6,	0,394	0,426	»	0,460**
7, 8, 9,	0,417**	»	»	»
10, 11, 12,	0,404	»	»	»
13, 14, 15,	»	0,473	»	»
16, 17, 18.	»	0,480	0,428**	»

59. — Ventilation absolue par inspiration, chez M. Vallot. Moyenne par trois jours successifs, à Chamonix, au retour. Lit. d'air pour une inspir., à 0° et à 0,760 m.

*Moyenne d'après deux jours seulement.
**Un seul jour.

Comparaison des deux sujets. — En résumé, si l'on compare les deux sujets, la fonction respiratoire paraît être beaucoup plus élastique chez le sujet entraîné (*M. Vallot*), où l'on voit la ventilation réelle augmenter tout d'un coup pendant l'ascension et redescendre à la normale immédiatement, à la descente, tandis que, chez le sujet non entraîné (*M. de Goumoëns*), la quantité d'air inspiré reste d'abord à peu près ce qu'elle était avant le changement d'altitude, en montant ou en descendant, et ne change ensuite que progressivement. Le sujet entraîné semble retrouver, en quelque sorte, ses habitudes chaque fois qu'il change de station. Par contre, M. de Goumoëns paraît plus complètement acclimatable que moi et finit par se procurer au Mont Blanc presque autant d'oxygène que dans la plaine.

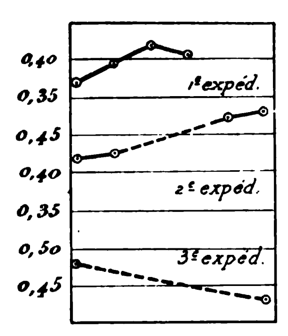


Fig. 54. — Ventil. absolue par inspir., chez M. Vallot. Moy. par trois jours successifs, au retour à Chamonix. Lit. d'air pour une inspir. à 0° et à 0,760 m.

Sujet non entraîné, M. de Goumoens. — Le tableau 60 et les graphi-

JOURS depuis l'arrivée	1899	1900	MOYENNE
1	(0,440)*	0,326	(0,383)*
2	0,482	0,378	0,430
3	0,556	0,413	0,485
4	0,459	0,386	0,423
5	»	»	»
6	0,533	0,391	0,462
7	(0,533)	(0,364)	»
8	(0,532)	0,340	(0,436)
9	0,531	0,411	0,471
10	»	»	»
11	0,576	0,407	0,492
12	»	0,417	»
13	»	»	»
14	»	»	»
15	»	0,418	»

60. — Ventilation absolue par inspiration, chez M. de Goumoens. Moy. de chaque journée depuis l'arrivée au Mont Blanc. Lit. d'air pour une inspir., à 0° et à 0,760 m.

* Les chiffres entre parenthèses sont interpolés. Les moyennes entre parenthèses résultent de trois chiffres observés et un chiffre interpolé.

ques 50 et 55 montrent comment s'est conduit le sujet non entraîné. La moyenne des deux expéditions montre que la ventilation absolue par inspiration, après la baisse brusque résultant du changement de pression, a

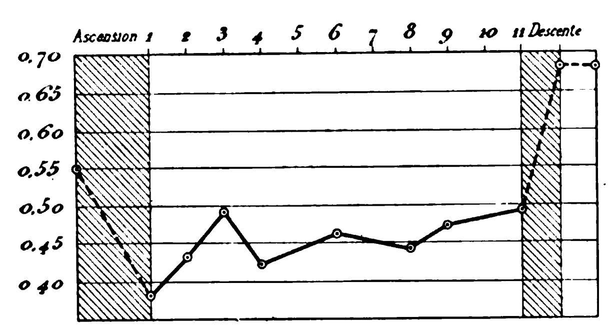


Fig. 55. — Ventil. absolue par inspir., chez M. de Goumoens. Moy. des deux expéditions pour chaque jour successif depuis l'arrivée au Mont Blanc. Lit. d'air pour une inspir., à 0° et à 0,760 m.

augmenté d'une façon continue et régulière, sauf une irrégularité observée au troisième jour.

Du tableau 60 on tirera le tableau 61, qui traduit en chiffres les parties

	VENTILATION en litres par minute	VARIATION	FRACTION de la diminution totale	FRACTION décimale de la ventilation normale
Chamonix, *avant le départ.*	0,55			
Effet rapide de l'ascension.		— 0,17	— 1,00	— 0,31
Mont Blanc, *à l'arrivée.*	0,38			
Effet graduel de l'acclimatement.		+ 0,11	+ 0,65	+ 0,20
Mont Blanc, *à la fin du séjour.*	0,49			
Effet rapide de la descente.		+ 0,19	+ 1,12	+ 0,35
Chamonix, *à l'arrivée.*	0,68			

61. — Ventilation absolue par inspiration, chez M. de Goumoens. Effets de l'ascension, du séjour et de la descente. Lit. d'air pour une inspir., à 0° et à 0,760 m.

principales du graphique 55 et indique la proportion de la variation à la ventilation normale.

On tire de ce tableau les conséquences suivantes :

1° La diminution totale de la ventilation absolue par inspiration est de — 31 pour cent, c'est-à-dire presque égale à la diminution résultant de la différence de pression.

2° L'effet graduel de l'acclimatement produit une augmentation de ventilation beaucoup plus considérable que chez l'autre sujet, atteignant, en douze jours, 20 pour cent de la ventilation normale ou 65 pour cent de la diminution primitive, corrigeant ainsi les deux tiers de cette diminution.

JOURS	1899	1900	MOYENNE générale
1, 2, 3,	0,519*	0,372	0,446
4, 5, 6,	0,496*	0,389	0,443
7, 8, 9,	0,531**	0,376*	0,454
10, 11, 12,	0,576**	0,412*	0,494
13, 14, 15.	»	0,418**	»

62. — Ventilation absolue par inspiration, chez M. de Goumoens. Moyenne par trois jours successifs, au Mont Blanc. Litres d'air pour une inspiration, à 0° et à 0,760 m.

3° A la descente, la ventilation remonte de 35 pour cent et se trouve portée passagèrement à un taux excessif, très élevé au-dessus de la normale.

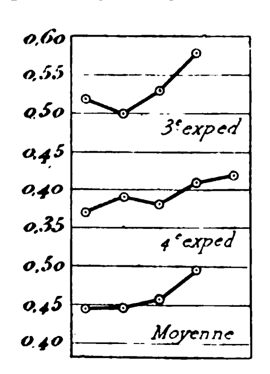


Fig. 56. — Ventil. absolue par inspir., chez M. de Goumoens. Moy. par trois jours successifs, au Mont Blanc. Lit. d'air pour une inspir., à 0° et à 0,760 m.

Le tableau 62 et le graphique 56 donnent une autre représentation du phénomène. Chaque point est la moyenne de trois jours successifs dans chacune des deux expéditions. En bas, se trouve la moyenne générale. Ce graphique montre l'augmentation continue de la ventilation pendant le séjour à grande altitude.

On peut se rendre compte de l'amélioration due à l'acclimatement par l'examen du tableau 63, qui établira, par une sorte de compte de profits et pertes, ce que la nature demande au poumon et ce qu'elle en obtient en réalité.

La ventilation absolue par inspiration, qui était de 0,55 lit. à Chamonix, a été de 0,38 lit. au Mont Blanc, produisant une diminution de 0,17 lit. La diminution théorique étant de — 0,18 lit., il y a eu un léger gain immédiat de 0,01 lit. soit de 6 pour cent de la perte théorique. Puis a commencé

* Moyenne d'après deux jours seulement.
** Un seul jour.

l'acclimatement, qui a produit à la fin de l'expédition une augmentation de 0,11 lit. ou 61 pour cent. de la baisse théorique. Cette augmentation est beaucoup plus considérable que celle de l'autre sujet, à peu près double de celle-ci. Le gain total a été de 0,12 lit., soit 67 pour cent de la baisse théorique, et il ne reste plus, à la fin du séjour, qu'un déficit de — 0,06 lit., soit — 33 pour cent ou un tiers seulement de la baisse théorique, que la profondeur des inspirations n'est pas parvenue à combler.

	VENTILATION en litres par minute	VARIATION	FRACTION de la perte théorique	FRACTION décimale de la ventilation normale
CHAMONIX, *avant le départ.*	0,55			
MONT BLANC, *ventilation théorique.*	0,37			
Perte théorique.		— 0,18	— 1,00	— 0,33
MONT BLANC, *à l'arrivée.*	0,38			
Perte réelle observée.		— 0,17	— 0,94	— 0,31
Gain pendant l'ascension.		+ 0,01	+ 0,06	+ 0,02
MONT BLANC, *à la fin du séjour.*	0,49			
Gain dû à l'acclimatement.		+ 0,11	+ 0,61	+ 0,20
Gain total.		+ 0,12	+ 0,67	+ 0,22
Déficit restant après onze jours.		— 0,06	— 0,33	— 0,11

63. — Ventilation absolue par inspiration, chez M. DE GOUMOENS.
Résultat de l'acclimatement. Litres d'air pour une inspiration, à 0° et à 0,760 m.

Le tableau 63 permet aussi de se rendre compte de la fraction dont le poumon est privé, par rapport à la ventilation normale, et de la fraction qu'il parvient à récupérer par l'acclimatement. La perte théorique au Mont Blanc est de — 33 pour cent de la normale. Elle se réduit de 22 pour cent par suite de l'acclimatement, et il ne reste plus, au bout de douze jours, que — 11 pour cent à récupérer.

Les conclusions sont les mêmes que pour l'autre sujet et ont encore plus de force, le gain étant ici beaucoup plus considérable. L'acclimatement est dû en partie à l'augmentation de la profondeur des inspirations, celle-ci faisant récupérer les deux tiers de la perte produite par la dépression atmosphérique.

Comparaison des deux sujets. — En résumé, si l'on compare les deux sujets, on voit qu'ils se conduisent de même à la montée, où le poumon ne paraît faire aucun effort *immédiat* pour contrebalancer la perte théorique,

Pendant le séjour, le sujet non entraîné (*M. de Goumoëns*) se montre plus acclimatable et produit une augmentation de ventilation double de celle du sujet entraîné (*M. J. Vallot*); mais il conserve ensuite temporairement, à la descente, l'augmentation obtenue, tandis que le sujet entraîné, dont la fonction respiratoire est plus élastique, retourne immédiatement à la normale.

Comparaison des résultats obtenus, dans l'augmentation de la ventilation, par la fréquence des inspirations et leur profondeur. — On a vu que la fréquence des inspirations et leur profondeur sont deux fonctions étroitement liées, qui se complètent et se suppléent. Il convient maintenant de chercher quelle est leur efficacité proportionnelle. La variabilité même de ces fonctions ne permet pas de tirer des expériences une règle générale à cet égard, mais les chiffres apportés ici sont déjà assez nombreux pour qu'on puisse se faire une idée approximative du rapport des fonctions.

	SUJET entraîné		SUJET non entraîné	
	NOMBRE d'inspirations	PROFONDEUR des inspirations	NOMBRE d'inspirations	PROFONDEUR des inspirations
Ventilation à Chamonix.	13,4	0,42	13,9	0,55
Gain pendant l'ascension.	1,1	0,00	— 1,2	0,01
Rapport.	0,08	0	— 0,09	0,02
Gain pendant le séjour.	0,3	0,05	2,0	0,11
Rapport.	0,02	0,12	0,14	0,20
Gain total.	1,4	0,05	0,8	0,12
Rapport.	0,10	0,12	0,06	0,22
Diminution théorique, en centièmes.	0,33		0,33	
Somme totale des gains —	0,22		0,28	
Déficit à la fin du séjour —	— 0,11		— 0,05	

64. — Ventilation absolue. Comparaison des deux sujets. Nombre des inspirations et leur profondeur en litres. Gain dû à l'acclimatement, en centièmes.

On trouvera dans le tableau 64, pour chacun des deux sujets, le rapport

entre le gain obtenu par l'acclimatement et la ventilation normale à Chamonix.

Ces rapports mettent en évidence les inégalités observées entre les deux sujets, mais font voir en même temps que le résultat final est analogue.

Le sujet entraîné gagne tout de suite en nombre d'inspirations 0,08, tandis que l'autre perd, au contraire, — 0,09; par contre, le sujet entraîné ne gagne que peu par le séjour, 0,02, tandis que l'autre gagne beaucoup, 0,14, à la même époque.

Pour la profondeur des inspirations, les deux sujets ne gagnent d'abord rien ou peu de chose, 0,02 immédiatement, mais gagnent ensuite beaucoup, 0,12 et 0,20 par le séjour.

Il n'y a pas de rapport fixe entre les gains produits par les deux fonctions, nombre d'inspirations et profondeur.

Chez le sujet entraîné, le rapport du gain total a été de 10 pour cent pour la fréquence et de 12 pour cent pour la profondeur des inspirations ; on peut dire que ce sujet s'acclimate à peu près également par les deux fonctions.

Au contraire, chez le sujet non acclimaté, le rapport du gain total a été de 6 pour cent seulement pour le nombre et de 22 pour cent pour la profondeur des inspirations. Ce sujet s'est beaucoup plus acclimaté par la profondeur que par la fréquence respiratoire.

Quant à la valeur absolue de l'acclimatement, elle a été plus considérable chez le sujet non entraîné. En effet, tandis que le sujet entraîné a gagné 22 pour cent sur les 33 pour cent de perte théorique, présentant encore un déficit de — 11 pour cent ou d'un tiers à la fin du séjour, le sujet non entraîné a gagné 28 pour cent, ne laissant qu'un déficit de — 5 pour cent ou de moins d'un sixième.

On voit donc que certains sujets ont la propriété de présenter une amélioration très rapide, quoique peu intense, tandis que d'autres, qui ne présentent pas la même élasticité, ne s'améliorent que lentement, mais peuvent pousser l'acclimatement plus loin.

En résumé, *le mécanisme de la ventilation est très varié, mais, quelle que soit sa forme, il ressort comme un élément très considérable d'acclimatement*, puisque l'un des sujets avait déjà regagné, au bout de douze



jours, les deux tiers, et l'autre les cinq sixièmes de la ventilation que la différence de pression avait fait perdre. Il ne paraît pas douteux qu'un séjour plus prolongé ne parvienne à produire un acclimatement complet de la ventilation pulmonaire.

CAPACITÉ THORACIQUE

Correction de température. — La détermination de la capacité thoracique était faite immédiatement après celle de la ventilation. Le poumon était d'abord vidé complètement; on faisait ensuite une inspiration totale à travers le compteur. Trois observations de suite étaient faites et leur moyenne constituait une détermination. S'il arrivait qu'un chiffre différât sensiblement des deux autres, il était fait deux observations supplémentaires, et l'on prenait la moyenne des cinq observations.

Ce que l'on veut connaître en mesurant la capacité thoracique, c'est la variation du *volume absolu* du poumon. L'air, étant aspiré à la sortie du compteur, se trouve à la température de cet instrument. Arrivé dans le poumon, il se réchauffe immédiatement et prend la température de 36°; c'est donc à cette température qu'il faudra ramener par le calcul les chiffres de la colonne *m* du tableau 5, indiqués par le compteur. Cette correction de température permettra de connaître le volume réel occupé par l'air dans le poumon; quant à la différence de pression aux deux stations, il n'y a pas à en tenir compte, puisque c'est le volume du poumon que l'on cherche et non le poids de l'air introduit. La colonne *n* donne la capacité thoracique ramenée à 36°.

La variation diurne de la capacité thoracique a été étudiée pendant sept jours au Mont Blanc, sept jours à Chamonix et trois jours à Paris, comme la ventilation pulmonaire. On la trouvera représentée sur les graphiques 57, 58 et 59.

L'examen des graphiques est loin de donner des résultats aussi saillants que ceux qu'on a observés pour la ventilation. L'influence des repas se révèle souvent, mais elle n'est pas constante; néanmoins, il est bon d'établir les moyennes, qui permettent de mieux se rendre compte de la réalité



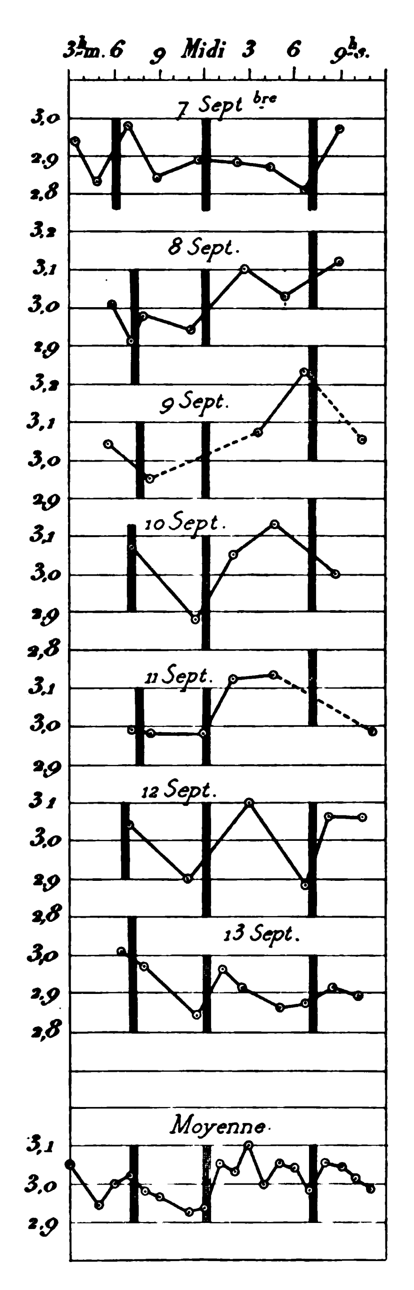


Fig. 57. — Mont Blanc.

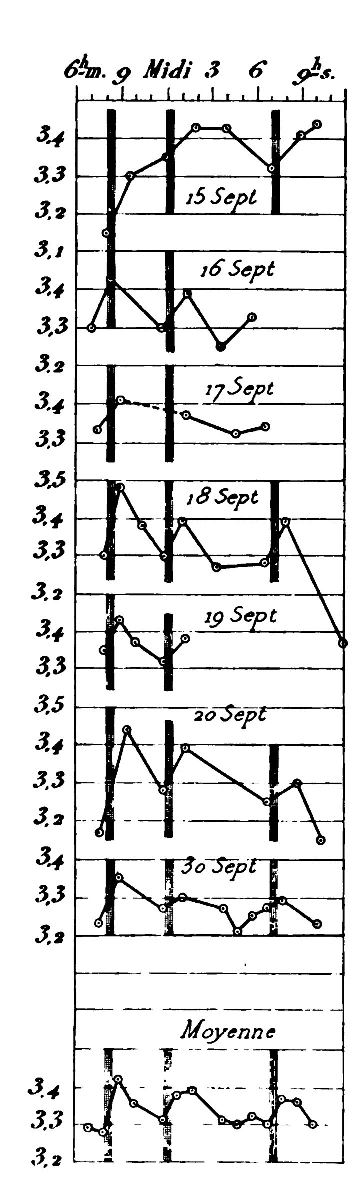


Fig. 58. — Chamonix.

Variation diurne de la capacité thoracique, en litres, chez M. Vallot.

de la variation habituelle. Le calcul des moyennes a été fait par le procédé indiqué à la ventilation, après avoir appliqué aux diverses journées les corrections du tableau 65.

Le tableau 66 et le graphique 60 donnent les moyennes obtenues par ce procédé, pour le Mont Blanc, Chamonix et Paris.

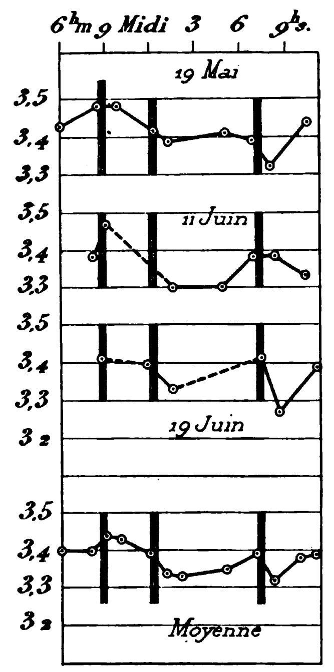


FIG. 59. — Variat. diurne de la capacité thoracique, en litres, à Paris, chez M. VALLOT.

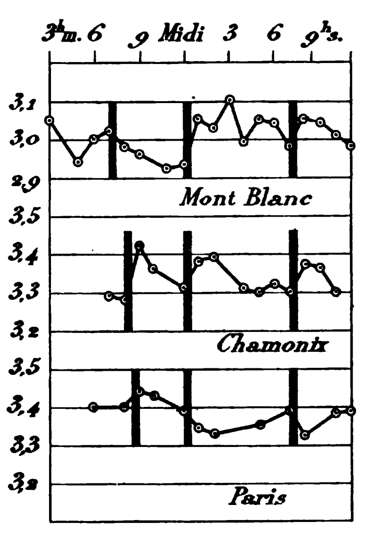


FIG. 60. — Moy. de la variat. diurne de la capacité thoracique, en litres, chez M. VALLOT.

Le Mont Blanc révèle une forte augmentation après le repas de midi, et une autre moins importante après le repas du soir, mais n'indique aucune influence sérieuse du repas du matin. A Chamonix, chacun des trois repas montre une augmentation très sensible de la capacité thoracique, mais à Paris on n'observe rien de semblable, et l'on trouve, au contraire, une petite diminution. En résumé, il semble bien que les repas aient pour effet d'augmenter la capacité thoracique, mais cette influence aurait besoin d'expériences plus nombreuses pour être démontrée comme tout à fait certaine.

En présence des divergences des déterminations, j'ai pensé qu'il était

préférable de ne pas tenir compte d'une variation dont la régularité n'est

MONT BLANC		CHAMONIX		PARIS	
DATE	CORRECTION	DATE	CORRECTION	DATE	CORRECTION
7 septembre	+ 0,11	15 septembre	— 0,05	19 mai	— 0,03
8 —	+ 0,01	16 —	— 0,01	11 juin	+ 0,02
9 —	+ 0,07	17 —	— 0,01	19 —	0,00
10 —	— 0,05	18 —	— 0,01		
11 —	— 0,01	19 —	— 0,03		
12 —	— 0,05	20 —	+ 0,05		
13 —	+ 0,09	30 —	+ 0,07		

65. — Correction applicable à chaque journée, pour l'étude de la variation diurne de la capacité thoracique.

pas assez démontrée, et je n'ai pas cru devoir faire une correction horaire

HEURE	MONT BLANC — CAPACITÉ en litres	CHAMONIX — CAPACITÉ en litres	PARIS — CAPACITÉ en litres
6	3,00	(3,29)*	3,40
7	3,02	3,29	(3,40)*
8	2,98	3,28	3,40
9	2,96	3,42	3,44
10	(2,94)*	3,36	3,43
11	2,92	(3,34)	(3,41)
Midi	2,93	3,31	3,39
1	3,05	3.38	3,34
2	3,03	3,39	3,33
3	3,10	(3,35)	(3,34)
4	2,99	3,31	(3,34)
5	3,05	3,30	3,35
6	3,04	3,32	(3,37)
7	2,98	3,30	3,39
8	3,05	3,37	3,32
9	3,04	3,36	(3,35)
10	3,01	3,30	3,38
11	2,98	»	3,39
Minuit	»	3,06	»
Moyenne	3,00	3,33	3,38

66. — Variation diurne de la capacité thoracique, en litres, chez M. VALLOT.

* Les chiffres entre parenthèses sont interpolés et ne concourent pas au calcul de la moyenne.

qui introduirait certainement des erreurs dans certains cas. Il se trouve, du reste, que la capacité se montre assez constante dans l'après-midi, et c'est à ce moment de la journée que presque toutes les déterminations ont été faites.

On peut ajouter que l'amplitude de la variation, au cours de la journée, n'est pas considérable ; elle s'est trouvée de 0,18 lit. au Mont Blanc, soit 6 pour cent de la variation maxima, de 0,14 lit., soit 4 pour cent à Chamonix, et de 0,12 lit., soit 3 pour cent à Paris. La moyenne de la variation diurne, régulière ou non, s'est montrée de plus en plus intense, à mesure qu'on s'élevait, pendant les courtes périodes indiquées.

L'impossibilité de faire une correction diurne impose le devoir d'examiner un peu plus en détail les variations de la capacité qui se sont produites en dehors des journées spéciales qui ont été considérées. Le graphique 61 représente l'ensemble des expériences de l'année 1898, où il a été fait plusieurs déterminations chaque jour ; on n'a pas tenu compte des espaces horaires.

Ici, on ne remarque pas, entre les deux stations, les grandes différences de variation qu'on a trouvées dans la ventilation. La variation, au cours d'une journée, paraît sensiblement égale au Mont Blanc et à Chamonix. Si l'on prend la moyenne de ces variations, on trouve :

Première expédition	Mont Blanc	0,10	Chamonix	0,12
Deuxième —	—	0,18	—	0,15
	moyenne	0,14	moyenne	0,14

Les variations se sont trouvées sensiblement égales. Ce résultat montre qu'on n'a généralement pas à craindre plus d'erreur au Mont Blanc qu'à Chamonix. Il n'est pas conforme à celui qu'on a trouvé plus haut, mais on peut l'accepter avec plus de confiance, par la raison qu'il est basé sur des matériaux plus complets, bien que moins nombreux. En effet, les sept jours d'observations spéciales renferment des déterminations assez nombreuses pour qu'on soit à peu près assuré d'avoir le maximum et le minimum de chaque jour, tandis que les autres journées ne renferment que deux ou trois observations dont les heures ne sont pas les mêmes aux deux stations, et qui ne renferment généralement pas la variation totale. Les observations des sept jours sont donc beaucoup plus rigoureuses, et,

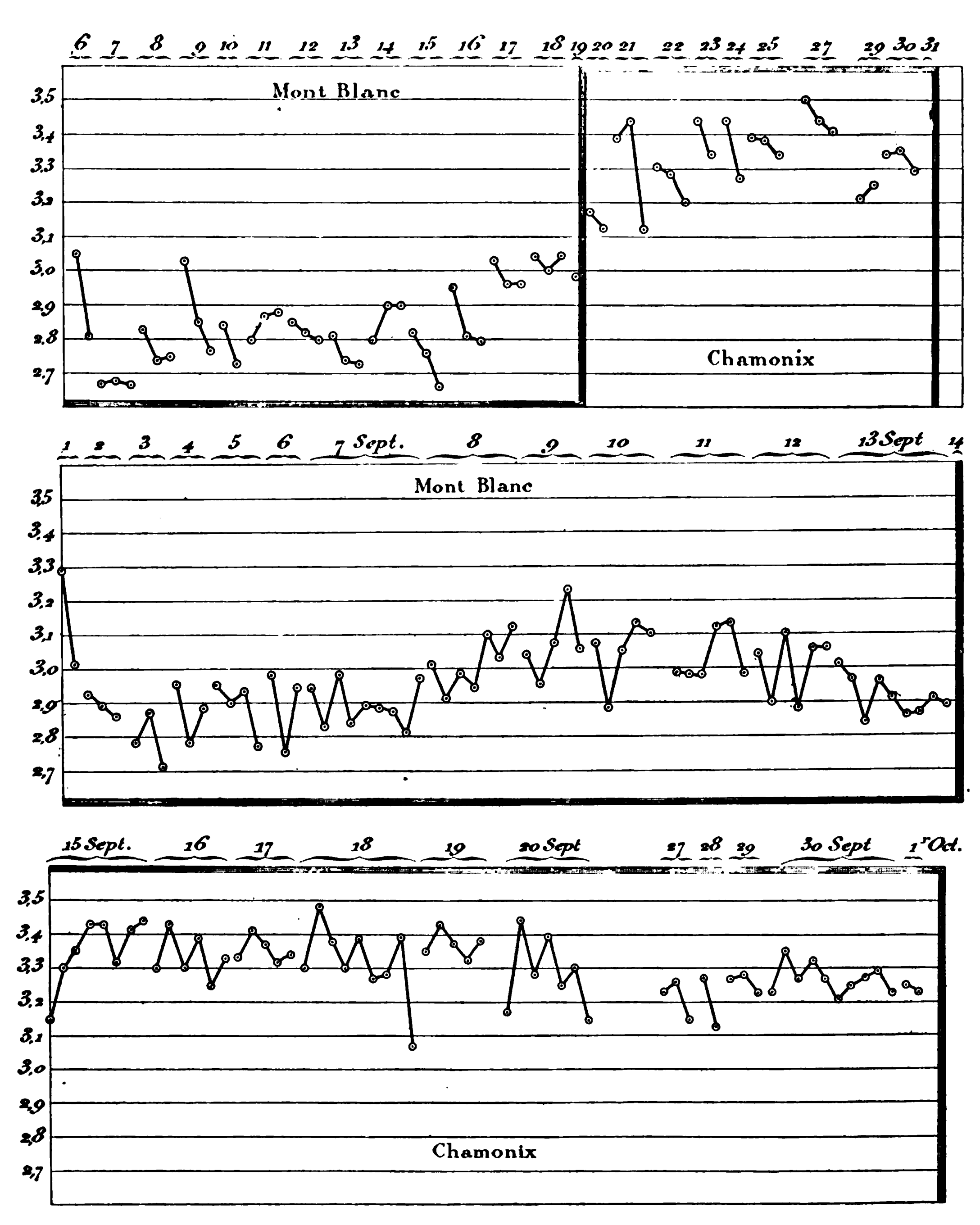


FIG. 61. — Variation de la capacité thoracique, en litres, chez M. VALLOT. Détail des observations de deux expéditions.

en attendant de nouvelles déterminations systématiques, on doit préférer le résultat qui en a été tiré.

Influence de l'altitude. — *Sujet entraîné*, M. Vallot. — On trouvera au tableau 5, colonne *n*, la capacité respiratoire ramenée à 36° et,

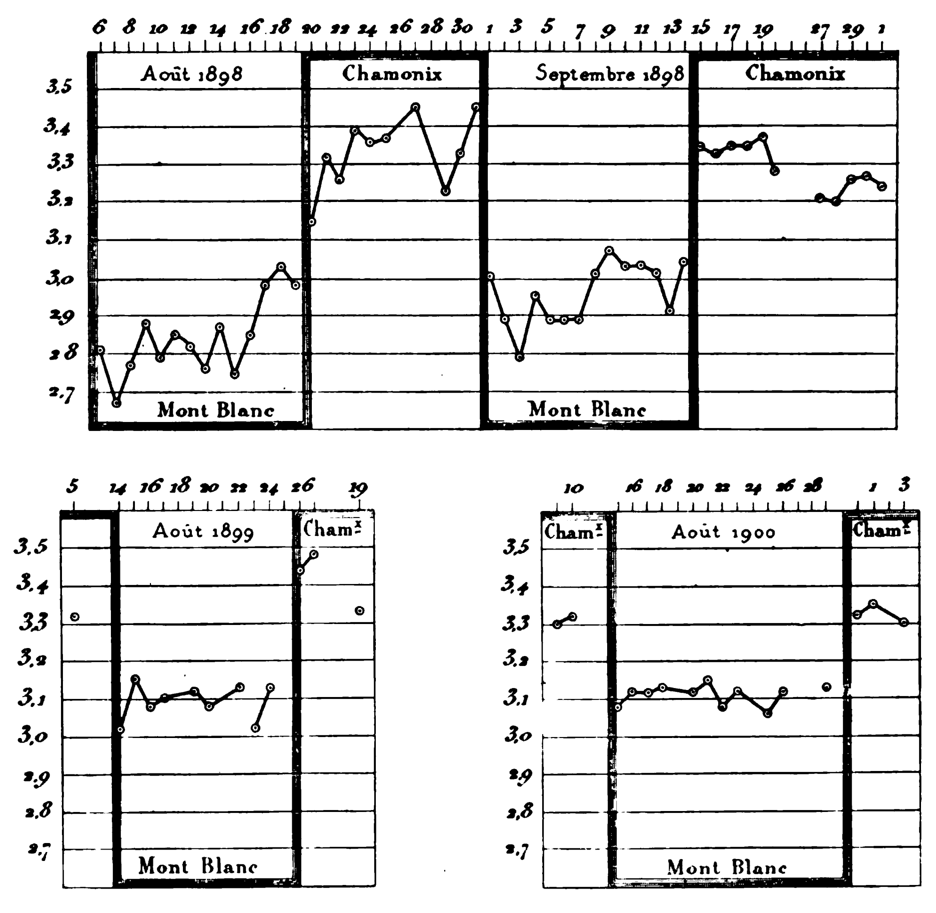


Fig. 62. — Moyenne, pour chaque journée, de la capacité thoracique, en litres, chez M. Vallot.

colonne *o*, la moyenne pour chaque jour. Ces moyennes sont figurées sur le graphique 62.

Ce qui frappe tout d'abord, c'est que la capacité thoracique est constamment plus faible au Mont Blanc qu'à la station inférieure. Pour se rendre compte de la différence, on a calculé la moyenne générale de chaque expédition au Mont Blanc et des déterminations qui ont été faites avant et après

à Chamonix. On a réuni ces moyennes dans le tableau 67, avec les différences de la capacité aux deux stations. Ce tableau est moins complet que

ANNÉE	STATION	CAPACITÉ thoracique en litres	DIFFÉRENCE en s'élevant	DIFFÉRENCE en descendant
1898	Chamonix	»	»	
—	Mont Blanc	2,84		
—	Chamonix	3,33		+ 0,49
—	Mont Blanc	2,95	— 0,38	
—	Chamonix	3,29		+ 0,34
1899	Chamonix	3,32		
—	Mont Blanc	3,09	— 0,23	
—	Chamonix	3,46		+ 0,37
1900	Chamonix	3,31		
—	Mont Blanc	3,13	— 0,18	
—	Chamonix	3,32		+ 0,19
	Moyenne		— 0,26	+ 0,35

67. — Capacité thoracique, en litres, chez M. VALLOT. Moyenne de chaque expédition.

les tableaux analogues qui précèdent, en ce que les déterminations manquent pour Chamonix avant la première expédition ; on ne peut donc, malheureusement, avoir l'augmentation de la capacité à la première expédition.

On voit que, chaque fois qu'on a habité la station supérieure, la ventilation s'est trouvée plus faible, et qu'elle est redevenue plus forte lorsqu'on est redescendu. On peut en conclure que l'augmentation de l'altitude provoque la diminution de la capacité thoracique.

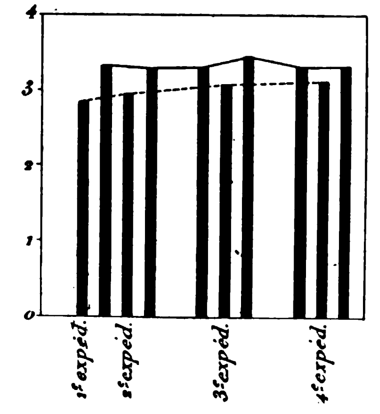


FIG. 63. — Capacité thoracique, en litres, chez M. VALLOT. Moy. de chaque expédition.
—— Chamonix. — — — Mont Blanc.

Le graphique 63 traduit le tableau 67 et montre à la fois les variations de la capacité thoracique et le rapport de l'intensité de ces variations avec leur grandeur. Ces éléments ne présentent que de faibles variations en un même lieu ; ainsi, à Chamonix, la capacité

varie de 3,46 lit. à 3,29 lit., ce qui donne une différence de 0,17 lit. à 0,05 lit. seulement pour la ventilation obtenue à la même station à différentes époques. Au Mont Blanc, la capacité a varié de 3,13 lit. à 2,84 lit., ce qui donne une différence de 0,29 lit. à 0,10 lit. un peu plus grande, comme la plupart des variations au Mont Blanc.

La moyenne de la capacité a été de 3,34 lit. à Chamonix et de 3,00 lit. au Mont Blanc. La diminution en s'élevant s'est montrée assez variable de — 0,37 lit. à — 0,18 lit., la moyenne étant de — 0,26 lit., soit de 8 pour cent de la capacité normale à Chamonix. Les mêmes variations s'observent à la descente, où l'augmentation moyenne, 0,35 lit., est plus considérable qu'à la montée.

Sujet non entraîné, M. DE GOUMOENS. — On trouvera au tableau 5, colonne *n*, la capacité thoracique ramenée à 36° et, colonne *o*, la moyenne pour chaque jour. Ces moyennes sont figurées sur le graphique 64.

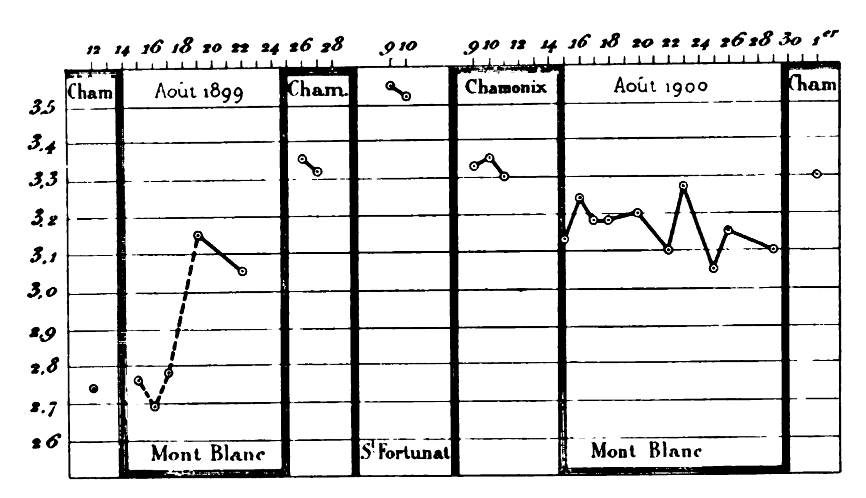


Fig. 64. — Moyenne, pour chaque journée, de la capacité thoracique, en litres, chez M. DE GOUMOENS.

L'expédition de 1899 montre, à Chamonix et aux trois premiers jours du Mont Blanc, des chiffres tellement bas qu'il semble impossible qu'ils ne soient pas erronés, à Chamonix surtout, où il n'y a aucune raison pour que la capacité ait si peu de volume. Les résultats montent ensuite tout d'un coup et paraissent dès lors réguliers. Il est probable que le sujet n'a pas su vider complètement son poumon les premiers jours; pareille chose m'est arrivée

à moi-même lors des premiers essais, et j'ai dû rejeter les chiffres de la période préparatoire. Pour M. de Goumoëns, il n'avait pu être fait d'expé-

ANNÉE	STATION	CAPACITÉ thoracique en litres	DIFFÉRENCE en s'élevant	DIFFÉRENCE en descendant
1899	Chamonix	[3,33]*	— 0,23	
—	Mont Blanc	3,10		+ 0,23
—	Chamonix	3,33		
1900	Chamonix	3,33	— 0,16	
—	Mont Blanc	3,17		+ 0,13
—	Chamonix	3,30		
	Moyenne		— 0,20	+ 0,18

68. — Capacité thoracique, en litres, chez M. DE GOUMOENS. Moyenne de chaque expédition.

riences préliminaires, de sorte que le sujet n'avait pas l'habitude nécessaire, et je me vois obligé de rejeter les quatre premières observations comme fautives.

Cette élimination faite, on voit, comme pour l'autre sujet, que la capacité est constamment plus faible au Mont Blanc qu'à Chamonix.

On trouve dans le tableau 68 la moyenne générale de chaque expédition, avec les différences de la capacité aux deux stations. Le graphique 65 traduit ce tableau et montre à la fois les variations de la capacité et le rapport de l'intensité de ces variations avec leur grandeur. La colonne en grisé, semblable à celle du retour, remplace le chiffre rejeté comme fautif.

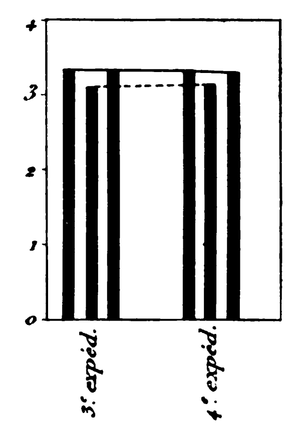


FIG. 65. — Capacité thoracique, en litres, chez M. DE GOUMOENS. Moy. de chaque expédition.
— Chamonix. – – – Mont Blanc

Les variations en un même lieu de cet élément sont très faibles, surtout à Chamonix, où il ne varie que de 3,30 lit. à 3,33 lit. Au Mont Blanc, il varie de 3,10 lit. à 3,17 lit., ce qui donne une différence de 0,07 lit. seulement, soit de 1/44.

* Le chiffre entre crochets est celui de l'observation au retour, mis à la place du chiffre observé qui a été rejeté comme fautif, faute d'habitude du sujet.

La moyenne de la capacité a été de 3,32 lit. à Chamonix et de 3,14 lit. au Mont Blanc. La diminution, en s'élevant, a été de — 0,20 lit. A la descente l'augmentation a été de 0,18 lit.

Ces chiffres sont analogues à ceux qu'on a obtenus pour l'autre sujet et aident à montrer que la capacité thoracique diminue lorsqu'on s'élève.

Effet de l'acclimatement. — *Sujet entraîné*, M. Vallot. — On a

JOURS depuis l'arrivée	1898 août	1898 septembre	1899	1900	MOYENNE
1	2,81	3,01	3,02	3,06	2,98
2	2,67	2,89	3,15	3,12	2,96
3	2,77	2,79	3,08	3,12	2,94
4	2,88	2,87	3,10	3,13	3,00
5	2,79	2,89	»	»	»
6	2,85	2,89	3,12	3,12	3,00
7	2,82	2,89	3,08	3,15	2,99
8	2,76	3,01	(3,08)*	3,08	(2,98)*
9	2,87	3,07	3,13	3,12	3,05
10	2,75	3,03	3,02	(3,19)	(3,00)
11	2,85	3,03	3,13	3,26	3,07
12	2,98	3,01	(3,13)	3,12	(3,06)
13	3,03	2,91	»	»	»
14	2,98	3,04	»	»	»
15	»	»	»	3,13	»

69. — Capacité thoracique, en litres, chez M. Vallot. Moyenne de chaque journée depuis l'arrivée au Mont Blanc.

réuni dans le tableau 69 la moyenne de chaque jour successif, depuis l'arrivée, pour chaque expédition, ainsi que les moyennes des quatre expé-

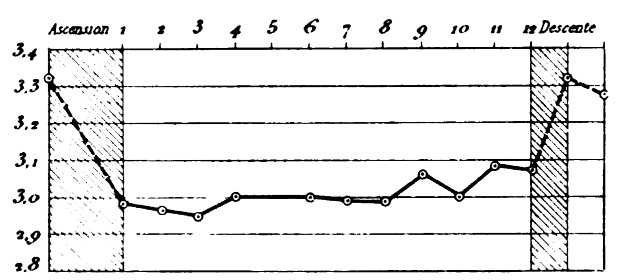


Fig. 66. — Capacité thoracique, en litres, chez M. Vallot. Moy. des quatre expéditions pour chaque jour successif depuis l'arrivée au Mont Blanc.

* Les chiffres entre parenthèses sont interpolés. Les moyennes entre parenthèses résultent de trois chiffres observés et un chiffre interpolé.

ditions. Le détail des diverses expéditions est figuré sur le graphique 62, et la moyenne est figurée sur le graphique 66.

JOURS	1898 AOUT	1898 SEPTEMBRE	1899	1900	MOYENNE générale
1, 2, 3,	2,75*	2,90	3,08	3,11	2,97
4, 5, 6	2,84	2,88	3,11*	3,13*	2,96
7, 8, 9,	2,82	2,88	3,11*	3,11	2,97
10, 11, 12,	2,85	3,02	3,08*	3,19*	3,02
13, 14.	3,01*	2,98*	»	3,13**	3,02

70. — Capacité thoracique, en litres, chez M. VALLOT. Moyenne par trois jours successifs, au Mont Blanc.

Si l'on se reporte au graphique 62 et qu'on examine la marche de la capacité thoracique, on remarquera qu'elle est assez irrégulière, mais qu'on peut discerner une tendance à l'augmentation pendant le séjour au Mont Blanc.

La variation sera mieux mise en lumière par le graphique 66, qui donne la moyenne des quatre expéditions pour chaque jour. On voit la capacité diminuer d'abord pendant deux jours, comme nous l'avons vu pour la ventilation, puis rester stationnaire et augmenter ensuite faiblement au bout de quelque temps.

Le tableau 70 et le graphique 67 donnent une autre représentation du phénomène. Chaque point est la moyenne de trois jours successifs dans chacune des quatre expéditions. En bas, se trouve la moyenne générale. Ce graphique montre que l'augmentation de la capacité thoracique se produit généralement au cours du séjour au Mont Blanc.

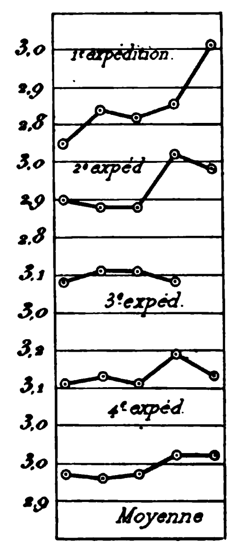


FIG. 67. — Capac. thoracique, en litres, chez M. VALLOT. Moy. par trois jours success. au Mont Blanc.

On peut se rendre compte de la valeur de la diminution brusque produite par l'ascension, et de l'augmentation lente causée par l'acclimatement.

* Moyenne d'après deux jours seulement.

** Un seul jour.

Le tableau 71 traduit en chiffres le graphique 66 et indique la proportion de la variation à la capacité thoracique.

	CAPACITÉ THORACIQUE en litres	VARIATION	FRACTION de la diminution totale	FRACTION décimale de la capacité normale
CHAMONIX, *avant le départ.*	3,82			
MONT BLANC, *à l'arrivée.*	2,98			
Effet rapide de l'ascension.		— 0,34	— 1,00	— 0,10
MONT BLANC, *à la fin du séjour.*	3,06			
Effet graduel de l'acclimatement.		0,08	0,23	0,02
Déficit à la fin du séjour.		— 0,26	— 0,76	— 0,08

71. — Capacité thoracique, en litres, chez M. VALLOT. Effets de l'ascension, du séjour et de la descente.

On tire de ce tableau les conséquences suivantes :

1° La diminution immédiate de capacité produite par l'ascension est de — 0,34 lit., soit — 10 pour cent de la capacité thoracique normale.

JOURS depuis l'arrivée	1898 AOUT	1898 SEPTEMBRE	1899	1900	MOYENNE des deux premiers
1	3,15	3,35	3,44	3,32	3,25
2	3,32	3,33	3,48	3.35	3,32
3	3,26	3,35	»	»	3,32
4	3,39	3,35	»	3,30	3,37
5	3,36	3,37	»	»	3,36
6	3,37	3,28	»	»	3,32
7	»	»	»	»	»
8	3,45	»	»	»	»
9	»	»	»	»	»
10	3,23	»	»	»	»
11	3,33	»	»	»	»
12	3,45	»	»	»	»
13	»	3,21	»	»	»
14	»	3,20	»	»	»
15	»	3,26	»	»	»
16	»	3,27	»	»	»
17	»	3,24	»	»	»

72. — Capacité thoracique, en litres, chez M. VALLOT. Moyenne de chaque journée depuis le retour à Chamonix.

2° L'augmentation pendant le séjour est très faible, de 0,08 lit. seulement, soit 2 pour cent de la capacité normale.

Quant au retour à la normale, il est immédiat à la descente.

On peut conclure de ces expériences que la capacité thoracique diminue notablement lorsqu'on s'élève sur les montagnes, que le poumon a quelque

JOURS	1898	1898	1899	1900
1, 2, 3,	3,24	3,34	3,46*	3,34*
4, 5, 6,	3,37	3,33	»	3,30**
7, 8, 9,	3,45**	»	»	
10, 11, 12,	3,34	»	»	
13, 14, 15,	»	3,22	»	
16, 17, 18.	»	3,30*	3,3**	

73. — Capacité thoracique, en litres, chez M. Vallot. Moyenne par trois jours successifs, à Chamonix, au retour.

tendance à vouloir récupérer la capacité qu'il a perdue, mais que le retour vers la normale est très faible et doit être long à obtenir, s'il s'obtient jamais. La capacité thoracique paraît être la fonction la moins élastique et la moins adaptable de toutes les fonctions respiratoires.

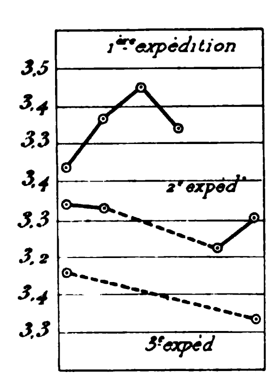


Fig. 68. — Capac. thorac. en litres, chez M. Vallot. Moy. par trois jours success., au retour à Chamonix.

Le retour à la normale s'effectue brusquement, l'augmentation étant de 0,26 lit.

Les tableaux 72 et 73 et le graphique 68, qui donnent la moyenne par

* Moyenne d'après deux jours seulement.
** Un seul jour.



trois jours successifs, font voir ce qui se passe après la descente. Il se produit des variations irrégulières, peu éloignées de la nouvelle.

Sujet non entraîné, M. DE GOUMOENS. — On a réuni dans le tableau 74 la moyenne de chaque jour successif, depuis l'arrivée, pour chaque expé-

JOURS depuis l'arrivée	1899	1900
1	»	3,13
2	2,76**	3,24
3	2,69**	3,18
4	2,76**	3,18
5	»	»
6	3,15	3,20
7	»	2,87?*
8	»	3,10
9	3,05	3,27
10	»	»
11	»	3,05
12	»	3,15
13	»	»
14	»	»
15	»	3,10

74. — Capacité thoracique, en litres, chez M. DE GOUMOENS. Moyenne de chaque journée depuis l'arrivée au Mont Blanc.

dition, ainsi que les moyennes des quatre expéditions. Le détail des diverses expéditions est figuré sur le graphique 64.

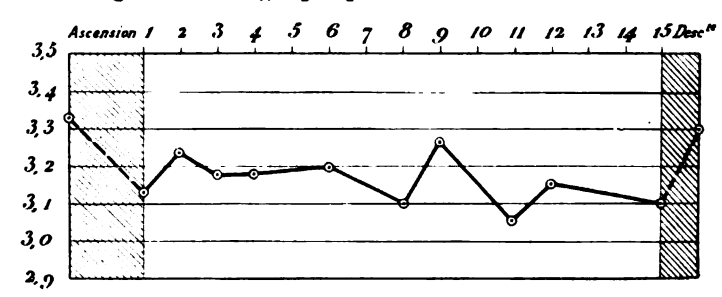


FIG. 69. — Capacité thorac. en litres, chez M. DE GOUMOENS. Moy. d'une des expéditions, pour chaque jour success. depuis l'arrivée au Mont Blanc.

Pour la variation pendant l'acclimatement, on ne peut pas avoir les moyennes jour par jour, puisqu'une partie des observations d'une des deux

** Chiffres faux, par défaut d'habitude.

expéditions a dû être rejetée comme fautive. Le graphique 69 ne représente qu'une seule expédition et n'a pas la valeur d'une moyenne. Contrairement

JOURS	1900
1, 2, 3,	3,18
4, 5, 6,	3,19*
7, 8, 9,	3,18*
10, 11, 12,	3,10*
13, 14, 15.	3,10**

75. — Capacité thoracique, en litres, chez M. DE GOUMOENS. Moyenne par trois jours successifs, au Mont Blanc.

à ce qu'on a vu pour l'autre sujet, la capacité a diminué légèrement pendant le séjour au Mont Blanc.

Le tableau 75 et le graphique 70 donnent une autre représentation du phé-

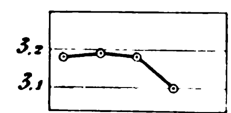


FIG. 70. — Capac. thorac., en litres, chez M. DE GOUMOENS. Moy. par trois jours success., au Mont Blanc.

nomène, dans laquelle chaque point est la moyenne de trois jours successifs; on a vu que pour ce sujet on ne dispose que d'une seule série complète. Ce

	CAPACITÉ THORACIQUE en litres	VARIATION	FRACTION de la diminution totale	FRACTION décimale de la capacité normale
CHAMONIX, *avant le départ.*	3,33			
MONT BLANC, *à l'arrivée.*	3,13			
Effet rapide de l'ascension.		— 0,20	— 1,00	— 0,06
MONT BLANC, *à la fin du séjour.*	3,10			
Diminution pendant le séjour.		— 0,03	— 0,15	— 0,01
Total de la diminution.		— 0,23	— 1,20	— 0,07

76. — Capacité thoracique, en litres, chez M. DE GOUMOENS. Effets de l'ascension, du séjour et de la descente.

* Moyenne d'après deux jours successifs.

** Un seul jour.

graphique met aussi en relief la baisse légère qui s'est produite pendant le séjour au Mont Blanc.

On peut se rendre compte de la diminution brusque produite par l'ascension et de la faible diminution qui s'est produite pendant le séjour au Mont Blanc. Le tableau 76 traduit en chiffres le graphique 69 et indique la proportion de la variation à la capacité thoracique.

On tire de ce tableau les conséquences suivantes :

1° La diminution immédiate de capacité produite par l'ascension est de — 0,20 lit., soit — 6 pour cent de la capacité thoracique normale.

2° Le sujet a ensuite éprouvé, pendant le séjour, une faible diminution de 0,03 lit., soit — 1 pour cent de la capacité normale.

En réunissant les expériences faites sur les deux sujets, on peut conclure que l'ascension au Mont Blanc fait diminuer la capacité thoracique d'une quantité notable, pouvant atteindre 10 pour cent de son volume normal, et que l'acclimatement ne semble pas apporter une amélioration bien sensible à l'état défectueux de l'organe.

ÉTUDES EXÉCUTÉES AU GLACIER DE TÊTE-ROUSSE

Par M. MOUGIN, ET **M. BERNARD,**
Inspecteur des Eaux et Forêts, Chef du Service du Reboisement à Chambéry ;
Inspecteur adjoint des Eaux et Forêts à Annecy.

MÉTÉOROLOGIE (1)

GÉNÉRALITÉS

L'Administration des Eaux et Forêts, chargée par la loi du 27 juillet 1898 des travaux de restauration à exécuter dans les montagnes du bassin de l'Arve, devait s'occuper du dangereux glacier de Tête-Rousse, situé au S.-W. du massif du Mont Blanc, *à l'altitude moyenne de* 3.200 *mètres*, à la limite des vallées de Montjoie et de Chamonix. Pour permettre aux agents du Service du Reboisement d'exécuter les études nécessaires, elle a fait construire, en 1902, sur l'arête rocheuse qui limite, au sud, le glacier et le sépare de celui de Bionnassay, un petit laboratoire en bois, qui fut muni des instruments les plus indispensables : baromètre de Fortin, thermomètres à maxima et à minima, baromètre et thermomètres enregistreurs de la maison Richard.

Des observations météorologiques s'imposaient ; mais, comme il n'est pas possible de séjourner continuellement sur un glacier aussi élevé au-dessus

(1) Ce mémoire n'est que la première partie d'un travail important dont l'ensemble a été honoré d'un prix décerné par la *Commission française des glaciers*. La deuxième partie, contenant des études du plus grand intérêt sur la marche et la constitution du glacier de Tête-Rousse, sera publiée dans un prochain volume des *Annales*. (J. VALLOT.)

du niveau de la mer, les renseignements recueillis ne concernent que la belle saison, c'est-à-dire les mois de juillet, août et septembre.

Nous nous sommes bornés à étudier les variations thermométriques et barométriques, laissant de côté les variations hygrométriques, actinométriques, anémométriques, etc.

Enfin, les recherches ont également porté sur l'importance des condensations atmosphériques, c'est-à-dire sur l'alimentation du glacier.

Le 30 juillet 1901, furent apportés au glacier de Tête-Rousse deux thermomètres et un baromètre enregistreurs, avec une cage en bois destinée à renfermer les appareils qui devaient fonctionner à l'extérieur.

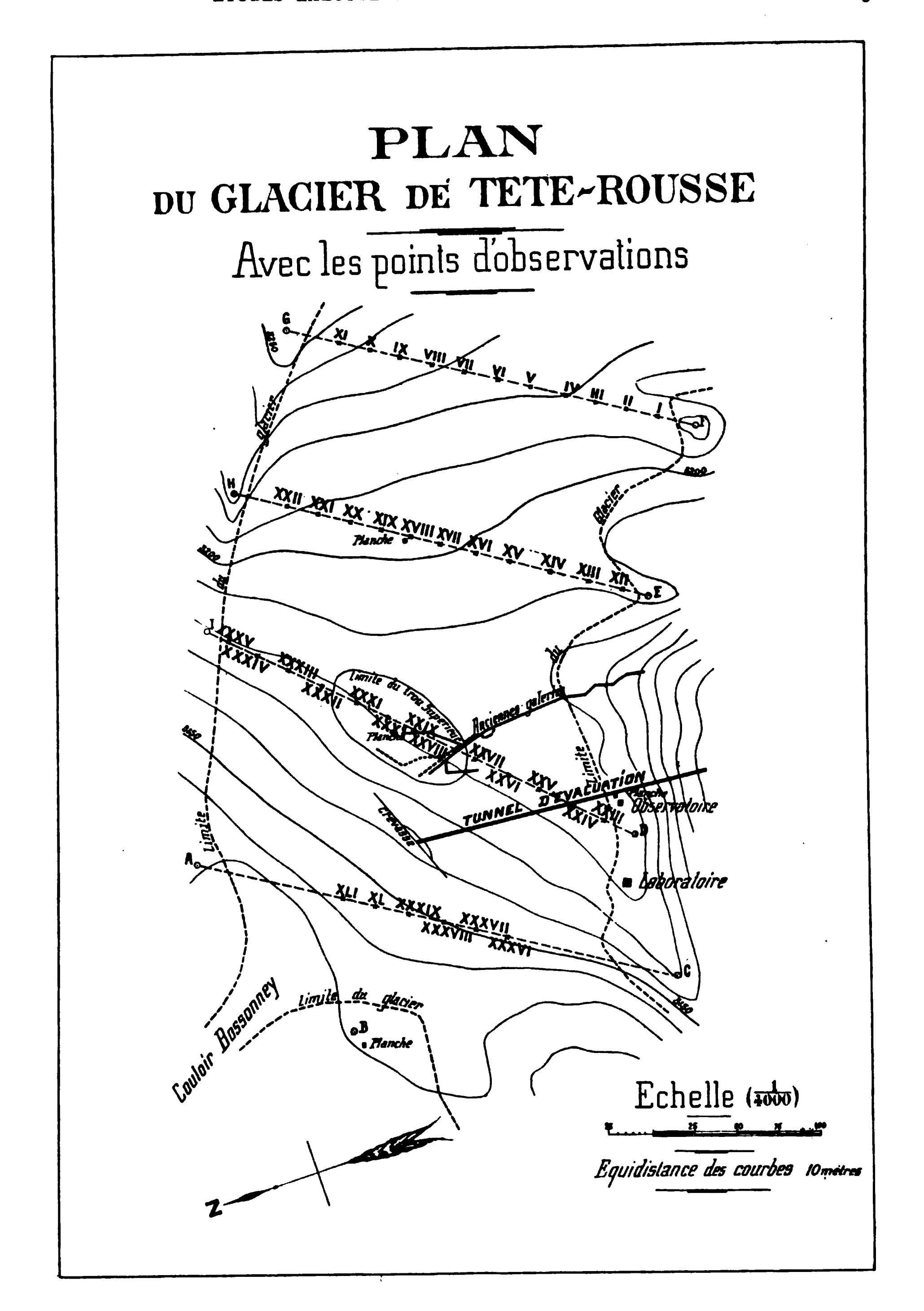
Il fallait trouver un emplacement propice à l'installation de cette rudimentaire station météorologique. Ce fut sur la crête qui domine à l'ouest l'entrée du premier tunnel, à l'endroit indiqué sur la planche ci-contre, qu'on le rencontra. D'un accès facile, cet emplacement présentait en outre l'avantage d'être exposé dans une certaine mesure à l'action des vents, ce qui diminuait les craintes de le voir, un jour ou l'autre, envahi par les neiges.

Immédiatement, on construisit un abri sommaire en pierre sèche, avec une toiture grossière, formée de poutres et de planches non rabotées, supportant des dalles de micaschiste. Cet abri, ouvert du côté du nord, et sous lequel devait être placée la cage renfermant les instruments, ne permet pas aux rayons solaires de venir frapper, à n'importe quel moment de la journée, la cage protectrice dont l'échauffement fausserait les indications des appareils.

Les panneaux supérieur et inférieur, ainsi que trois panneaux latéraux de cette cage sont en bois plein.

Chaque année, huit jours après le dernier remontage, les mouvements d'horlogerie se sont arrêtés, mais les aiguilles, dont les plumes avaient été abondamment pourvues d'encre, ont continué, au cours de l'hiver, leurs mouvements d'oscillation, faisant ainsi connaître les valeurs maxima et minima de la température et de la pression correspondant à ce que l'on peut appeler la mauvaise saison.

Un deuxième thermomètre enregistreur a été déposé dans une caisse, à l'intérieur du glacier, au fond de l'une des galeries de recherches. Il devait renseigner sur la valeur minima atteinte par la température intraglaciaire.


PLAN
DU GLACIER DE TETE-ROUSSE
Avec les points d'observations
Limite du trou supérieur
Anciennes galeries
TUNNEL D'EVACUATION
Observatoire
Laboratoire
Crevasse
Limite
Limite du glacier
Couloir Bossonney
Planche
Echelle (1/4000)
Equidistance des courbes 10 mètres

Le baromètre enregistreur employé était du petit modèle. Cet instrument, ainsi que le constate M. Vallot (*Annales de l'Observatoire du Mont Blanc*, t. I), a une amplitude de marche trop exiguë pour permettre d'étudier utilement la variation diurne de la pression atmosphérique. Aussi est-ce volontairement que nous négligerons les données qu'il a fournies.

Les deux thermomètres enregistreurs ont fonctionné avec la plus grande régularité, ainsi que nous avons pu nous en rendre compte en les comparant fréquemment avec des thermomètres à mercure divers et très précis.

L'altitude du point où a été construit l'abri en pierre sèche est de 3.186 m. 50. Cette cote a été calculée en partant du seuil de l'Hôtellerie des Guides, établie non loin de là, et dont l'altitude, déterminée par M. H. Vallot, est de 3.166 m. 90.

Examinons maintenant les résultats obtenus.

TEMPÉRATURE

Les feuilles d'observation du thermomètre enregistreur placé sous l'abri ont servi à dresser les tableaux suivants. On y voit indiqués les maxima et les minima diurnes et les températures moyennes.

La moyenne diurne a été obtenue en faisant la moyenne des températures relevées sur les diagrammes des enregistreurs, de deux heures en deux heures.

Les observations ont été faites aux époques suivantes :

En 1901 : du 31 juillet inclus au 18 octobre, sauf pour les 26 et 27 août, 7, 8 et 9 octobre.

En 1902 : du 13 juin inclus au 10 octobre, sauf pour les 22, 23, 24 et 25 juin et 1er octobre.

GLACIER DE TÊTE-ROUSSE (3.187 m.)

ANNÉE 1901

AOUT				SEPTEMBRE				OCTOBRE			
DATES	TEMPÉRATURES			DATES	TEMPÉRATURES			DATES	TEMPÉRATURES		
	Moyenne	Maxima	Minima		Moyenne	Maxima	Minima		Moyenne	Maxima	Minima
1	+ 1°,7	+ 3°,8	+ 0°,6	1	+ 2°,1	+ 8°,1	+ 1°,8	1	— 1°,3	+ 0°,8	— 3°,2
2	+ 0°,4	+ 1°,5	— 0°,6	2	+ 3°,0	+ 4°,9	+ 1°,0	2	+ 0°,3	+ 0°,5	— 0°,6
3	+ 3°,8	+ 6°,5	+ 0°,8	3	+ 2°,7	+ 5°,0	+ 2°,0	3	— 1°,4	— 0°,6	— 2°,0
4	+ 4°,4	+ 8°,0	+ 1°,2	4	+ 1°,7	+ 3°,2	— 0°,2	4	— 2°,7	— 1°,6	— 4°,6
5	+ 4°,5	+ 7°,4	+ 1°,8	5	— 0°,7	— 0°,2	— 2°,8	5	— 3°,3	— 2°,2	— 4°,6
6	+ 2°,4	+ 5°,3	+ 0°,8	6	— 1°,8	+ 1°,1	— 2°,6	6	— 3°,2	— 2°,0	— 3°,6
7	+ 1°,3	+ 3°,8	— 1°,6	7	+ 0°,2	+ 3°,2	— 1°,9	7	» »	» »	» »
8	+ 5°,8	+ 7°,5	+ 3°,8	8	+ 2°,4	+ 6°,4	— 0°,4	8	» »	» »	» »
9	+ 6°,1	+ 8°,5	+ 4°,0	9	+ 5°,3	+ 8°,3	+ 3°,8	9	» »	» »	» »
10	+ 6°,6	+ 9°,0	+ 4°,5	10	+ 3°,3	+ 4°,8	+ 1°,2	10	— 2°,9	— 2°,9	— 3°,0
11	+ 4°,2	+ 6°,3	+ 2°,5	11	+ 1°,8	+ 3°,0	— 0°,3	11	— 2°,0	— 1°,5	— 3°,0
12	+ 2°,6	+ 4°,3	+ 1°,3	12	— 2°,0	+ 0°,2	— 4°,8	12	— 2°,3	— 1°,7	— 3°,4
13	+ 1°,1	+ 4°,2	— 1°,2	13	— 3°,8	— 2°,0	— 5°,0	13	— 3°,7	— 2°,8	— 4°,3
14	+ 2°,6	+ 5°,5	+ 0°,0	14	— 4°,1	— 2°,5	— 5°,0	14	— 4°,2	— 3°,5	— 4°,8
15	+ 1°,7	+ 4°,4	— 0°,8	15	— 4°,9	— 2°,2	— 6°,0	15	— 3°,5	— 2°,1	— 4°,7
16	— 2°,2	+ 0°,0	— 4°,5	16	— 4°,8	— 3°,0	— 7°,0	16	— 2°,3	— 2°,0	— 3°,0
17	+ 3°,7	+ 6°,3	— 0°,5	17	— 2°,3	+ 0°,0	— 4°,8	17	— 2°,6	— 2°,0	— 3°,0
18	+ 7°,0	+ 9°,6	+ 5°,0	18	— 0°,5	+ 0°,5	— 1°,5	18	— 2°,0	— 2°,0	— 2°,0
19	+ 7°,7	+ 9°,0	+ 6°,0	19	— 1°,4	+ 1°,1	— 3°,2	19	» »	» »	» »
20	+ 7°,0	+ 8°,3	+ 5°,0	20	+ 1°,2	+ 3°,0	— 1°,0	20	» »	» »	» »
21	+ 5°,8	+ 8°,5	+ 3°,3	21	+ 1°,8	+ 2°,5	+ 0°,5	21	» »	» »	» »
22	+ 6°,8	+ 9°,3	+ 4°,2	22	— 0°,1	+ 0°,4	— 1°,0	22	» »	» »	» »
23	+ 6°,3	+ 8°,7	+ 4°,0	23	+ 2°,1	+ 3°,8	+ 0°,3	23	» »	» »	» »
24	+ 5°,8	+ 8°,3	+ 3°,4	24	+ 0°,0	+ 2°,1	— 1°,5	24	» »	» »	» »
25	+ 5°,8	+ 7°,6	+ 4°,0	25	— 2°,2	— 1°,5	— 3°,8	25	» »	» »	» »
26	» »	» »	» »	26	— 0°,7	— 0°,7	— 2°,3	26	» »	» »	» »
27	» »	» »	» »	27	— 1°,5	— 0°,9	— 2°,4	27	» »	» »	» »
28	— 3°,0	— 1°,4	— 4°,6	28	— 1°,7	— 0°,8	— 2°,8	28	» »	» »	» »
29	+ 2°,8	+ 0°,0	— 6°,5	29	— 3°,3	— 2°,0	— 4°,2	29	» »	» »	» »
30	— 1°,9	+ 4°,4	— 1°,0	30	— 1°,7	— 0°,8	— 2°,9	30	» »	» »	» »
31	+ 2°,5	+ 4°,6	+ 0°,5	»	» »	» »	» »	31	» »	» »	» »
Moy.	+ 3°,50	+ 5°,83	+ 1°,22	Moy.	— 0°,33	+ 1°,33	— 1°,89	Moy.	» »	» »	» »

GLACIER DE TÊTE-ROUSSE (3.187 m.)

ANNÉE 1902

JUIN				JUILLET				AOUT			
DATES	TEMPÉRATURES			DATES	TEMPÉRATURES			DATES	TEMPÉRATURES		
	Moyenne	Maxima	Minima		Moyenne	Maxima	Minima		Moyenne	Maxima	Minima
1	» »	» »	» »	1	+ 1°,5	+ 2°,3	+ 0°,5	1	+ 2°,1	+ 4°,2	+ 0°,6
2	» »	» »	» »	2	+ 0°,3	+ 2°,0	— 2°,1	2	+ 1°,6	+ 3°,4	+ 0°,0
3	» »	» »	» »	3	— 0°,8	+ 1°,0	— 3°,1	3	— 0°,3	+ 0°,5	— 1°,1
4	» »	» »	» »	4	+ 1°,0	+ 2°,9	— 1°,1	4	+ 1°,0	+ 3°,7	— 1°,0
5	» »	» »	» »	5	+ 2°,8	+ 5°,0	— 0°,0	5	+ 1°,2	+ 2°,1	— 0°,1
6	» »	» »	» »	6	+ 4°,0	+ 5°,5	+ 1°,9	6	+ 3°,5	+ 6°,4	+ 1°,0
7	» »	» »	» »	7	+ 5°,7	+ 7°,8	+ 3°,7	7	+ 3°,6	+ 4°,8	+ 2°,5
8	» »	» »	» »	8	+ 5°,4	+ 6°,7	+ 4°,5	8	+ 2°,5	+ 4°,4	+ 0°,5
9	» »	» »	» »	9	+ 4°,4	+ 6°,5	+ 2°,5	9	— 0°,9	+ 0°,8	— 3°,0
10	» »	» »	» »	10	+ 2°,1	+ 3°,8	+ 0°,6	10	— 0°,3	+ 2°,4	— 2°,0
11	» »	» »	» »	11	— 2°,6	+ 0°,6	— 4°,5	11	— 2°,2	— 0°,3	— 4°,8
12	» »	» »	» »	12	+ 0°,6	+ 3°,7	— 2°,9	12	— 5°,1	— 3°,5	— 6°,0
13	— 2°,4	— 1°,6	— 3°,3	13	+ 3°,5	+ 5°,5	+ 1°,0	13	— 4°,4	— 1°,2	— 7°,0
14	— 3°,9	— 3°,0	— 4°,6	14	+ 5°,4	+ 7°,3	+ 3°,7	14	— 1°,9	+ 1°,0	— 4°,7
15	— 3°,8	— 2°,5	— 5°,0	15	+ 6°,9	+ 9°,8	+ 4°,8	15	— 0°,4	+ 2°,3	— 3°,2
16	— 3°,7	— 3°,0	— 4°,2	16	+ 4°,9	+ 6°,0	+ 2°,5	16	+ 1°,3	+ 3°,8	— 1°,2
17	— 4°,4	— 3°,7	— 5°,0	17	+ 1°,8	+ 3°,2	+ 0°,3	17	+ 1°,1	+ 2°,8	— 0°,4
18	— 5°,3	— 5°,0	— 5°,8	18	+ 2°,0	+ 5°,3	— 1°,0	18	+ 1°,5	+ 3°,7	— 0°,6
19	— 4°,1	— 3°,0	— 5°,2	19	+ 1°,2	+ 3°,0	— 0°,0	19	+ 3°,9	+ 6°,0	+ 2°,0
20	— 2°,5	— 2°,2	— 5°,0	20	— 0°,5	+ 1°,0	— 1°,5	20	+ 2°,1	+ 5°,2	— 2°,4
21	— 2°,5	— 2°,0	— 3°,0	21	— 3°,2	— 1°,6	— 5°,5	21	— 1°,6	+ 0°,4	— 3°,8
22	» »	» »	» »	22	— 4°,5	— 1°,7	— 7°,2	22	— 0°,2	+ 1°,8	— 2°,4
23	» »	» »	» »	23	— 3°,1	— 0°,3	— 5°,5	23	+ 1°,9	+ 4°,0	— 0°,0
24	» »	» »	» »	24	— 1°,3	+ 1°,3	— 4°,0	24	+ 3°,7	+ 5°,4	+ 1°,7
25	» »	» »	» »	25	— 0°,3	+ 1°,5	— 2°,1	25	+ 3°,5	+ 4°,5	+ 2°,1
26	+ 0°,4	+ 1°,1	— 0°,6	26	+ 3°,3	+ 6°,1	+ 1°,0	26	+ 1°,3	+ 2°,1	— 0°,5
27	+ 0°,6	+ 1°,3	— 0°,2	27	+ 4°,7	+ 6°,8	+ 3°,0	27	— 0°,2	+ 1°,2	— 1°,0
28	+ 0°,4	+ 1°,3	— 0°,8	28	+ 0°,5	+ 1°,6	— 1°,1	28	+ 1°,2	+ 3°,3	— 0°,4
29	+ 1°,1	+ 1°,4	— 0°,6	29	+ 1°,3	+ 3°,9	— 0°,4	29	+ 2°,7	+ 3°,4	+ 1°,2
30	+ 0°,9	+ 2°,0	— 0°,6	30	+ 2°,0	+ 5°,3	— 0°,6	30	+ 0°,9	+ 2°,5	— 0°,3
»	» »	» »	» »	31	+ 3°,7	+ 5°,8	+ 2°,0	31	+ 1°,1	+ 3°,3	— 0°,8
Moy.	» »	» »	» »	Moy.	+ 1°,69	+ 3°,79	— 0°,34	Moy.	— 0°,78	+ 2°,72	— 1°,13

GLACIER DE TÊTE-ROUSSE (3.187 m.)

ANNÉE 1902

SEPTEMBRE				OCTOBRE			
DATES	TEMPÉRATURES			DATES	TEMPÉRATURES		
	Moyenne	Maxima	Minima		Moyenne	Maxima	Minima
1	+ 1°,3	+ 2°,0	+ 1°,0	1	» »	» »	» »
2	+ 1°,3	+ 3°,5	— 0°,3	2	— 6°,8	— 3°,6	— 9°,5
3	+ 3°,0	+ 5°,4	+ 0°,8	3	— 7°,8	— 5°,3	— 11°,3
4	+ 5°,2	+ 7°,9	+ 3°,5	4	— 4°,0	— 2°,0	— 7°,2
5	+ 2°,2	+ 5°,4	— 0°,6	5	— 2°,9	— 0°,4	— 4°,4
6	— 1°,5	— 0°,3	— 3°,8	6	— 4°,0	— 0°,0	— 8°,4
7	— 1°,9	+ 1°,4	— 4°,4	7	— 7°,2	— 3°,3	— 9°,4
8	+ 1°,6	+ 3°,9	— 0°,7	8	— 3°,7	— 1°,0	— 8°,6
9	+ 4°,2	+ 6°,0	+ 3°,0	9	— 0°,8	+ 2°,0	— 1°,0
10	+ 3°,4	+ 4°,1	+ 1°,0	10	— 1°,0	+ 1°,8	— 1°,0
11	+ 1°,4	+ 2°,6	— 0°,0	11	» »	» »	» »
12	— 0°,7	+ 0°,8	— 2°,7	12	» »	» »	» »
13	— 2°,9	— 1°,4	— 5°,1	13	» »	» »	» »
14	— 4°,2	— 1°,6	— 6°,6	14	» »	» »	» »
15	— 3°,5	— 1°,6	— 5°,4	15	» »	» »	» »
16	— 3°,0	— 1°,3	— 4°,0	16	» »	» »	» »
17	— 3°,3	— 1°,0	— 4°,6	17	» »	» »	» »
18	— 3°,3	— 0°,8	— 5°,5	18	» »	» »	» »
19	— 2°,4	— 0°,1	— 4°,5	19	» »	» »	» »
20	— 0°,6	+ 1°,7	— 2°,4	20	» »	» »	» »
21	+ 1°,4	+ 3°,4	— 0°,0	21	» »	» »	» »
22	+ 1°,0	+ 3°,5	— 0°,7	22	» »	» »	» »
23	+ 1°,0	+ 3°,7	— 0°,7	23	» »	» »	» »
24	+ 1°,1	+ 3°,4	— 1°,0	24	» »	» »	» »
25	+ 0°,1	+ 3°,2	— 2°,0	25	» »	» »	» »
26	— 2°,8	— 0°,0	— 4°,7	26	» »	» »	» »
27	— 3°,3	— 0°,4	— 5°,8	27	» »	» »	» »
28	— 3°,5	— 2°,2	— 6°,5	28	» »	» »	» »
29	— 5°,8	— 3°,0	— 7°,4	29	» »	» »	» »
30	— 5°,5	— 3°,0	— 7°,5	30	» »	» »	» »
»	» »	» »	» »	31	» »	» »	» »
Moyenne.	— 0°,66	+ 1°,50	— 2°,58	Moyenne.	» »	» »	» »

GLACIER DE TÊTE-ROUSSE (3.187 m.)

ANNÉE 1903

JUILLET				AOUT			
DATES	TEMPÉRATURES			DATES	TEMPÉRATURES		
	Moyenne	Maxima	Minima		Moyenne	Maxima	Minima
1	+ 4°,0	+ 8°,5	— 0°,6	1	— 2°,4	— 0°,0	— 5°,5
2	+ 5°,4	+ 9°,7	+ 0°,8	2	+ 2°,0	+ 4°,4	— 0°,3
3	+ 5°,3	+ 8°,8	+ 1°,7	3	+ 1°,0	+ 2°,3	— 0°,4
4	+ 4°,4	+ 7°,5	+ 2°,0	4	+ 3°,2	+ 5°,7	— 0°,4
5	+ 4°,1	+ 6°,0	+ 2°,7	5	+ 5°,7	+ 7°,6	+ 4°,0
6	+ 2°,5	+ 4°,5	— 1°,0	6	+ 5°,9	+ 8°,0	+ 3°,6
7	— 2°,9	— 0°,3	— 7°,3	7	+ 6°,5	+ 8°,7	+ 4°,2
8	— 5°,3	— 2°,2	— 7°,7	8	+ 6°,6	+ 8°,5	+ 4°,4
9	— 3°,6	— 1°,0	— 5°,4	9	+ 6°,5	+ 8°,0	+ 4°,7
10	+ 0°,7	+ 3°,2	— 3°,2	10	+ 2°,0	+ 6°,2	— 1°,3
11	+ 3°,1	+ 5°,3	+ 0°,9	11	+ 3°,0	+ 6°,8	— 1°,3
12	+ 3°,5	+ 5°,8	+ 1°,3	12	+ 3°,9	+ 5°,9	+ 2°,3
13	+ 2°,0	+ 3°,4	+ 0°,5	13	+ 1°,9	+ 3°,5	+ 0°,3
14	+ 2°,2	+ 3°,8	+ 0°,8	14	+ 3°,8	+ 6°,7	+ 1°,1
15	+ 3°,1	+ 5°,8	+ 0°,0	15	+ 0°,9	+ 5°,2	— 3°,6
16	+ 3°,7	+ 6°,0	+ 0°,8	16	— 4°,5	— 2°,6	— 7°,0
17	+ 3°,3	+ 4°,4	+ 2°,7	17	— 1°,6	+ 1°,0	— 4°,5
18	+ 3°,7	+ 5°,4	+ 2°,5	18	+ 0°,9	+ 1°,8	+ 0°,3
19	+ 2°,3	+ 3°,4	+ 0°,3	19	— 2°,0	+ 0°,7	— 6°,6
20	— 0°,8	+ 0°,4	— 2°,5	20	— 3°,8	+ 0°,4	— 8°,1
21	— 3°,0	— 1°,6	— 4 5	21	+ 2°,2	+ 4°,8	— 0°,0
22	— 0°,2	+ 3°,3	— 4°,2	22	+ 4°,0	+ 5°,8	+ 2°,4
23	+ 1°,2	+ 2°,5	— 0°,3	23	+ 4°,8	+ 6°,7	+ 0°,4
24	— 2°,2	— 0°,3	— 4°,5	24	+ 1°,6	+ 4°,4	— 1°,3
25	— 1°,9	+ 1°,6	— 5°,8	25	+ 0°,0	+ 1°,9	— 1°,4
26	— 0°,0	+ 1°,5	— 1°,0	26	— 1°,6	+ 0°,0	— 4°,0
27	— 1°,2	+ 0°,2	— 3°,0	27	+ 3°,3	+ 6°,6	— 1°,4
28	+ 0°,5	+ 1°,8	— 0°,7	28	+ 6°,3	+ 8°,4	+ 4°,0
29	+ 1°,2	+ 3°,4	— 0°,5	29	+ 6°,1	+ 7°,5	+ 4°,8
30	— 2°,7	+ 0°,2	— 4°,8	30	+ 5°,1	+ 6°,4	+ 3°,7
31	— 4°,0	— 1°,7	— 6°,0	31	+ 6°,1	+ 8°,3	+ 4°,2
Moyenne.	+ 0°,92	+ 3°,21	— 1°,48	Moyenne.	+ 2°,49	+ 4°,83	— 0°,09

GLACIER DE TÊTE-ROUSSE (3.187 m.)

ANNÉE 1903

SEPTEMBRE				OCTOBRE			
DATES	TEMPÉRATURES			DATES	TEMPÉRATURES		
	Moyenne	Maxima	Minima		Moyenne	Maxima	Minima
1	+ 5°,9	+ 8°,2	+ 4°,0	1	+ 1°,2	+ 3°,0	— 0°,6
2	+ 6°,9	+ 9°,8	+ 4°,0	2	— 1°,0	+ 1°,6	— 3°,8
3	+ 5°,1	+ 7°,2	+ 3°,3	3	— 1°,6	— 0°,2	— 4°,0
4	+ 4°,2	+ 6°,1	+ 2°,3	4	— 0°,5	+ 0°,8	— 2°,0
5	+ 4°,4	+ 5°,9	+ 2°,5	5	— 1°,0	— 0°,0	— 1°,7
6	+ 4°,2	+ 6°,0	+ 2°,0	6	+ 0°,3	+ 3°,4	— 2°,4
7	+ 4°,0	+ 5°,5	+ 2°,0	7	+ 2°,5	+ 5°,8	+ 0°,4
8	+ 4°,5	+ 6°,0	+ 3°,3	8	+ 1°,6	+ 4°,2	+ 0°,0
9	+ 3°,3	+ 5°,0	+ 1°,3	9	— 3°,2	+ 0°,8	— 7°,5
10	+ 0°,6	+ 2°,2	— 1°,4	10	— 9°,4	— 6°,8	— 11°,4
11	— 2°,4	+ 1°,4	— 7°,0	11	— 3°,3	+ 1°,0	— 9°,7
12	— 6°,0	— 3°,5	— 8°,2	12	— 0°,8	+ 0°,3	— 3°,2
13	— 3°,7	— 2°,7	— 4°,2	13	— 4°,7	— 3°,2	— 5°,7
14	— 7°,4	— 6°,0	— 8°,5	14	» »	» »	» »
15	— 9°,9	— 9°,2	— 10°,4	15	» »	» »	» »
16	— 8°,6	— 6°,4	— 10°,6	16	» »	» »	» »
17	— 7°,7	— 5°,8	— 9°,7	17	» »	» »	» »
18	— 6°,1	— 4°,9	— 6°,6	18	» »	» »	» »
19	— 5°,5	— 2°,7	— 7°,4	19	» »	» »	» »
20	— 3°,3	— 0°,2	— 6°,1	20	» »	» »	» »
21	— 0°,2	+ 1°,8	— 1°,8	21	» »	» »	» »
22	+ 0°,1	+ 0°,5	— 0°,4	22	» »	» »	» »
23	+ 0°,3	+ 2°,0	— 1°,2	23	» »	» »	» »
24	— 0°,4	+ 1°,1	— 2°,2	24	» »	» »	» »
25	— 0°,5	+ 0°,4	— 1°,3	25	» »	» »	» »
26	— 1°,1	+ 0°,8	— 3°,1	26	» »	» »	» »
27	— 0°,5	+ 1°,5	— 2°,4	27	» »	» »	» »
28	— 0°,1	+ 1°,7	— 1°,7	28	» »	» »	» »
29	— 0°,6	+ 0°,7	— 2°,0	29	» »	» »	» »
30	+ 0°,1	+ 1°,4	— 1°,4	30	» »	» »	» »
»	» »	» »	» »	31	» »	» »	» »
Moyenne.	— 0°,67	+ 1°,13	— 2°,43	Moyenne.	» »	» »	» »

L'examen des courbes et des enregistreurs des tableaux permet de faire les remarques suivantes :

Remarque I. — D'une manière générale, dans le cours d'une même journée, la courbe des températures présente un maximum et un minimum très nets. Il n'y a d'exception que pour les périodes où la température est en hausse ou en baisse rapide.

D'une manière générale également, le maximum se produit entre 4 et 6 heures du soir, et le minimum entre 6 et 8 heures du matin. Lorsque la température, après avoir été relativement basse, est en hausse rapide, le minimum se produit au début de la journée et le maximum à la fin. C'est l'inverse quand la température est en baisse rapide.

Dans ce dernier cas, la courbe présente fréquemment des inflexions, mais les maxima ou minima qu'elle indique ne sont que relatifs. Enfin, les oscillations des courbes du thermomètre enregistreur sont ordinairement d'autant plus accentuées que l'on se trouve dans une période plus chaude.

Le tableau suivant des températures moyennes mensuelles et des écarts correspondants entre les maxima et les minima moyens rendra plus facile la vérification du fait que nous avons énoncé :

TEMPÉRATURE MOYENNE		ÉCART ENTRE LES MAXIMUM ET MINIMUM MOYENS
Août 1901	+ 3°,50	4°,61
Août 1903	+ 2°,49	4°,92
Juillet 1902	+ 1°,69	4°,13
Juillet 1903	+ 0°,92	4°,69
Août 1902	+ 0°,78	3°,85
Septembre 1901	— 0°,33	3°,22
Septembre 1902	— 0°,66	4°,08
Septembre 1903	— 0°,67	3°,56

Comme on peut le voir, la règle n'est pas tout à fait générale, et il serait sans doute téméraire de l'étendre à la période comprenant la mauvaise saison. On observe, en effet, que durant la période du 10 octobre 1901 au 10 octobre 1902, à une température moyenne (moyenne des maxima et minima) de — 4°,03 correspond un écart moyen entre les maxima et minima de 5°,44.

Remarque II. — Le tableau ci-après fournit, pour chacune des années

1901, 1902 et 1903, les renseignements correspondant aux périodes pendant lesquelles les observations ont été faites.

INDICATION DES TEMPÉRATURES	ANNÉES		
	1901	1902	1903
Maximum le plus élevé.	+ 9°,6 le 18 août.	+ 9°,8 le 15 juillet	+ 9°,8 le 2 sept.
Minimum le plus élevé.	+ 6°,0 le 19 août.	+ 4°,8 le 15 juillet	+ 4°,8 le 29 août.
Maximum le moins élevé.	— 3°,0 le 16 sept.	— 5°,3 le 3 oct.	— 9°,2 le 15 sept.
Minimum le moins élevé.	— 7°,0 le 16 sept.	— 11°,3 le 3 oct.	— 11°,4 le 10 oct.
Température moyenne la plus élevée.	+ 7°,7 le 19 août.	+ 6°,9 le 15 juillet	+ 6°,4 le 2 sept.
Température moyenne la moins élevée.	— 4°,9 le 15 sept.	— 7°,3 le 3 oct.	— 9°,9 le 15 sept.

Il convient de ne pas adopter en valeur absolue les chiffres portés dans le tableau précédent. La cage contenant les appareils était, en effet, fermée de cinq côtés par des panneaux de bois plein, et par suite l'air ne pouvait y circuler librement.

Le thermomètre ne s'est donc jamais élevé au-dessus de 10°, tandis qu'il s'est abaissé jusqu'à — 11°,4. Par suite, bien que les expériences ne soient pas très étendues, on est en droit de conclure que la température de 10° est le maximum applicable au climat du glacier de Tête-Rousse.

De même, nous pouvons considérer la température de 8° comme représentant la moyenne diurne maxima applicable au climat du glacier de Tête-Rousse.

L'époque correspondant à la moyenne diurne maxima est très variable. Elle a été atteinte tantôt en juillet (1902), tantôt en août (1901), tantôt en septembre (1903). Il convient toutefois de faire remarquer que les températures n'ont pas été relevées en juillet 1901, et que, par suite, au cours de cette année 1901, la température moyenne maxima a pu être atteinte en juillet. Ce qui rend cette hypothèse assez vraisemblable, c'est que le 1er juillet 1901, à Chamonix, la température moyenne a été de 20°,1 tandis que le 19 août elle n'était que de 14°,8.

Remarque III. — Au mois de juin, la neige couvre encore généralement le sol, même sur les pentes escarpées. Nous pouvons donc considérer ce mois comme ne faisant pas partie de la saison végétative de plantes phanérogames de la région. Celles-ci sont d'ailleurs très rares. Bien que notre attention ne se soit pas fixée sur l'étude de la flore de Tête-Rousse, nous y

avons vu végéter, aux expositions chaudes et dans les anfractuosités des rochers, le Silène acaule. Peut-être ne nous éloignerons-nous pas beaucoup de la réalité en attribuant à cette plante une saison végétative de trois mois (juillet, août et septembre). En faisant, dès lors, le calcul des sommes de températures au-dessus de zéro correspondant à ces trois mois, on trouve, en 1902 : 138°,7 ; en 1903 : 193°,3.

De telle sorte que l'on peut conclure que le Silène acaule se contente d'une somme de température de 138°,7. Toutefois, nous ne saurions dire si cette plante réussit à mûrir ses graines et si cette somme de température est suffisante pour assurer toutes les phases de la végétation : germination des graines, développement de la plante, fécondation et maturation des graines (1).

Remarque IV. — Jusqu'à quelle température le thermomètre peut-il descendre en hiver ? D'octobre 1901 à fin juin 1902, le thermomètre enregistreur placé sous son abri (la plume ayant été à la belle saison abondamment pourvue d'encre) a indiqué une température minima de — 8°,5. Cette température n'est certainement pas la température minima de la mauvaise saison. La cage et son abri ont dû être recouverts d'une certaine couche de neige, et c'est sans doute à la faveur de ce manteau protecteur que la température n'est pas descendue plus bas. Aussi, pour éviter cet inconvénient, à la fin de la belle saison 1902, avons-nous fait placer la cage contre la paroi nord du laboratoire, à environ 2 mètres au-dessus du sol. Dans cette situation, elle ne pouvait être enneigée, et le thermomètre a indiqué pour l'hiver 1902-1903 un minimum de — 20°,5.

Remarque V. — Dans le tableau suivant, on a groupé, pour les années 1901, 1902, 1903 : 1° les températures moyennes mensuelles déduites des maxima et minima moyens mensuels ; 2° les températures moyennes mensuelles déduites des températures moyennes diurnes ; 3° les températures moyennes des trois mois de la belle saison, déduites des températures moyennes mensuelles.

(1) Nous n'ignorons pas, d'ailleurs, que les sommes de température n'ont, au point de vue du cycle de la végétation, qu'une importance secondaire, et que l'existence de certaines espèces ou une station déterminée est beaucoup plus directement liée aux températures extrêmes de cette station. D'autre part, les radiations calorifiques ne sont pas seules à exercer une influence sur la végétation : la puissance actinique des rayons, bien plus considérable dans les hautes régions que dans les basses, augmente la rapidité de l'évolution de la plante des stations élevées.

Remarquons, tout d'abord, que les températures moyennes mensuelles déduites des températures moyennes diurnes diffèrent très peu des moyennes mensuelles calculées à l'aide des maxima et minima moyens annuels. Bien

ANNÉES	JUILLET		AOUT		SEPTEMBRE		MOYENNE DES 3 MOIS	
	Moyenne des max. et min.	Moyenne des moyennes	Moyenne des max. et min.	Moyenne des moyennes	Moyenne des max. et min.	Moyenne des moyennes	Moyenne des max. et min.	Moyenne des moyennes
1901	»	»	+ 3°,52	+ 3°,50	— 0°,28	— 0°,33	»	»
1902	+ 1°,72	+ 1°,69	+ 0°,79	+ 0°,78	— 0°,54	— 0°,66	+ 0°,66	+ 0°,60
1903	+ 0°,86	+ 0°,92	+ 2°,37	+ 2°,49	— 0°,65	— 0°,67	+ 0°,86	+ 0°,91
Moyennes	»	»	+ 2°,23	+ 2°,26	— 0°,49	— 0°,55	»	»

que les données de l'année 1901 ne comprennent pas le mois de juillet, l'on voit aussi que les étés 1901, 1902, 1903 peuvent se classer de la manière suivante, par ordre de température décroissante : 1901, 1903, 1902.

On constate, en outre, que les températures correspondant à chaque mois varient peu sensiblement d'une année à l'autre. Il serait donc téméraire d'en déduire les valeurs des températures moyennes générales, applicables à chaque mois. Pour pouvoir le faire, il convient d'attendre un certain nombre d'années.

Il semble, toutefois, que le mois le plus chaud de l'année est le mois d'août et que le mois de juillet vient ensuite.

Température moyenne annuelle au glacier de Tête-Rousse. — Des résultats des observations on peut chercher à déduire la température moyenne annuelle au glacier de Tête-Rousse, en utilisant les documents publiés par la Commission de météorologie de la Haute-Savoie. Ceux-ci sont relatifs aux observations faites en divers points du département, notamment à Thonon, Saint-Julien, Bonneville, Annemasse, Thônes, Talloires, Annecy et Chamonix. Dans ces diverses stations, on n'observe que les maxima et minima diurnes. Les calculs ne porteront donc que sur les températures moyennes déduites des températures moyennes diurnes telles que nous les avons calculées,

Année **1901.** — Nous comparerons tout d'abord la station de Tête-Rousse à celle de Chamonix.

TEMPÉRATURES MOYENNES	CHAMONIX	TÊTE-ROUSSE	DIFFÉRENCE
Du 1er au 15 août	+ 15°,05	+ 3°,43	11°,62
Du 16 au 31 août	+ 12°,60	+ 3°,62	8°,98
Du 1er au 15 septembre	+ 13°,00	+ 0°,57	12°,43
Du 16 au 30 septembre	+ 12°,30	— 1°,13	13°,43
Du 1er au 15 octobre	+ 7°,90	— 2°,55	10°,45

Bien que ces différences entre les températures moyennes de Chamonix et de Tête-Rousse varient dans une assez grande mesure, nous adopterons leur moyenne comme représentant l'écart permanent qui existe entre les températures moyennes annuelles de Tête-Rousse et de Chamonix. Cet écart est de $\frac{56°,91}{5} = 11°,38$. Connaissant la température moyenne annuelle de Chamonix, on en déduit, par soustraction, celle de Tête-Rousse.

Malheureusement, les observations de Chamonix ont été interrompues pendant les mois de janvier, février, mars et avril, ce qui ne permet pas de connaître directement la valeur de la température moyenne de 1901 pour cette station. Nous sommes donc obligés de la calculer par une méthode indirecte.

Déterminons, pour chacune des stations où les observations de 1901 ont été interrompues : 1° la température moyenne annuelle; 2° celle des huit derniers mois de l'année, et faisons les différences entre les nombres obtenus. Nous pourrons alors dresser le tableau suivant :

STATIONS	ALTITUDE	TEMPÉRATURE moyenne ANNUELLE	TEMPÉRATURE moyenne DES HUIT DERNIERS mois de l'année	DIFFÉRENCE
Thonon	431m	+ 8°,90	+ 12°,40	3°,50
Bonneville	449	+ 8°,38	+ 11°,54	3°,16
Annemasse	400	+ 9°,98	+ 13°,29	3°,31
Thônes	625	+ 7°,67	+ 10°,76	3°,09
Talloires	478	+ 9°,87	+ 13°,22	3°,35
Annecy	448	+ 9°,46	+ 12°,69	3°,23
			Diff. moy. . . .	3°,27

Bien que les stations soient à des altitudes assez différentes, les nombres de la dernière colonne diffèrent assez peu entre eux, et nous pouvons, sans grande erreur, considérer leur valeur moyenne, 3°,27, comme égale à l'écart qui a existé dans le département entre la température moyenne annuelle et celle des huit derniers mois de l'année 1901.

Or, la moyenne des huit derniers mois de l'année 1901, à Chamonix, a été de 8°,21. Nous pouvons donc attribuer à la température moyenne annuelle de Chamonix, en 1901, la valeur 8°,21 — 3°,27 = 4°,94.

Ceci trouvé, nous obtenons enfin, comme valeur de la température moyenne de l'année 1901 à Tête-Rousse :

$$4°,94 - 11°,38 = -6°,44.$$

Nous nous proposons maintenant de calculer cette température en comparant directement la station de Tête-Rousse aux autres stations du département.

Dans le tableau suivant figureront, pour chacune des stations : 1° la température moyenne annuelle (1901) ; 2° la température moyenne d'août et septembre (seuls mois pendant lesquels les observations ont été continuées a Tête-Roussse) ; 3° la différence entre ces températures.

STATIONS	ALTITUDE	TEMPÉRATURE MOYENNE annuelle en 1901	TEMPÉRATURE MOYENNE de Août et Septembre 1901	DIFFÉRENCE
Thonon	431 m.	+ 8°,90	+ 16°,22	7°,32
Bonneville	449 —	+ 8°,38	+ 16°,45	8°,07
Annemasse	400 —	+ 9°,98	+ 17°,87	7°,89
Thônes	625 —	+ 7°,67	+ 15°,25	7°,58
Talloires	478 —	+ 9°,87	+ 18°,37	8°,50
Annecy	448 —	+ 9°,46	+ 17°,55	8°,09
			Diff. moy. . . .	7°,90

Comme dans les cas précédents, les chiffres de la dernière colonne sont peu différents les uns des autres, et nous pouvons aussi appliquer leur moyenne, 7°,90, au glacier de Tête-Rousse. Or, dans cette dernière station, la température moyenne d'août et septembre 1901 a été de 1°,62 ; par suite, la température moyenne annuelle de Tête-Rousse a été, en 1901,



de 1°,62 — 7°,90 = — 6°,28, chiffre qui diffère peu de celui obtenu précédemment.

Année 1902. — Les observations ont été continuées à Chamonix, aussi bien que dans les autres stations. A Tête-Rousse, elles l'ont été pendant les mois de juillet, d'août et de septembre seulement.

Premier mode de calcul.

TEMPÉRATURES MOYENNES	CHAMONIX	TÊTE-ROUSSE	DIFFÉRENCE
De juillet	+ 17°,10	+ 1°,72	15°,38
D'août	+ 14°,05	+ 0°,79	13°,26
De septembre	+ 10°,05	— 0°,54	10°,59
			39°,23

Écart moyen entre la température moyenne de Tête-Rousse et celle de Chamonix $\frac{39°,23}{3}$ = 13°,8, considéré, ainsi que nous l'avons déjà dit, comme égal à l'écart des températures moyennes annuelles. Or, la température moyenne annuelle de Chamonix a été de + 5°,32; celle de Tête-Rousse a donc été de :

5°,52 — 13°,08 = — 7°,56

Deuxième mode de calcul.

Ici encore, les nombres de la dernière colonne ne semblent pas être

STATIONS	ALTITUDE	TEMPÉRATURE MOYENNE annuelle en 1902	TEMPÉRATURE MOYENNE de Juillet, Août et Sept. 1902	DIFFÉRENCE
Thonon	431 m.	+ 8°,70	+ 17°,12	8°,42
Chamonix	1044 —	+ 5°,52	+ 13°,73	8°,21
Bonneville	449 —	+ 9°,07	+ 17°,60	8°,53
Annemasse	400 —	+ 9°,93	+ 18°,65	8°,72
Thônes	625 —	+ 8°,18	+ 16°,20	8°,02
Talloires	478 —	+ 10°,33	+ 18°,41	8°,08
Annecy	448 —	+ 9°,72	+ 18°,21	8°,56
			Différence moyenne	8°,36

influencés par l'altitude, et nous pouvons encore considérer la moyenne 8°,36



comme applicable à Tête-Rousse. Or, dans cette dernière station, la température moyenne des mois de juillet, août et septembre a été de 0°,66 ; la température moyenne annuelle aurait donc été de 0°,66 — 8°,36 = — 7°,70, chiffre se rapprochant aussi beaucoup de celui obtenu à l'aide de la première méthode de calcul.

Année 1903. — Les observations ont été poursuivies à Chamonix très régulièrement pendant toute l'année, ainsi que dans les autres stations, Thonon excepté. Pour combler cette lacune, nous avons choisi, dans le Bulletin de la commission de météorologie de la Haute-Savoie, les résultats obtenus à Saint-Julien-en-Genevois, qui se trouve également dans le bassin du Léman.

A Tête-Rousse, la période d'études s'est étendue sur les trois mois de juillet, août et septembre.

Premier mode de calcul.

TEMPÉRATURES MOYENNES	CHAMONIX	TÊTE-ROUSSE	DIFFÉRENCES
De juillet	+ 14°,7	+ 0°,86	13°,84
D'août	+ 11°,7	+ 2°,37	9°,33
De septembre	+ 9°,9	— 0°,65	10°,55
			33°,72

Écart moyen entre la température moyenne de Tête-Rousse et celle de Chamonix $\frac{33°,72}{3} = 11°,24$. A Chamonix, la température moyenne annuelle a été de 4°,25. Par suite, la température moyenne annuelle de Tête-Rousse aurait été de :

$$4°,25 - 11°,24 = - 6°,99$$

Deuxième mode de calcul.

La différence entre les nombres des colonnes 3 et 4 est beaucoup moins régulière qu'en 1901 et surtout qu'en 1902. Entre la différence moyenne et les différences élémentaires, l'écart atteint jusqu'à 1°,22.

Mais on voit que la différence moyenne 8°,19 reste cependant comprise dans les mêmes limites qu'en 1901 et 1902; si on en fait application comme précédemment, on trouve qu'à Tête-Rousse, où la température



STATIONS	ALTITUDE	TEMPÉRATURE MOYENNE annuelle en 1903	TEMPÉRATURE MOYENNE de Juillet, Août et Sept. 1903	DIFFÉRENCE
St-Julien-en-Genevois	478 m.	+ 10°,28	+ 19°,03	8°,75
Chamonix	1044 —	+ 4°,25	+ 12°,10	7°,85
Bonneville	449 —	+ 9°,17	+ 16°,35	7,18
Annemasse	400 —	+ 11°,14	+ 20°,55	9°,41
Thônes	625 —	+ 8°,02	+ 16°,33	8°,31
Talloires	478 —	+ 9°,87	+ 17°,67	7°,80
Annecy	448 —	+ 9°,85	+ 17°,88	8°,03
			Diff. moy. . . .	8°,19

moyenne des mois de juillet, août et septembre 1903 a été de 0°,86, la température moyenne annuelle aurait été de :

$$0°,86 - 8°,19 = - 7°,33$$

Ce chiffre ne diffère que fort peu de celui trouvé par la première méthode.

Remarque. — Les valeurs ainsi calculées de la température moyenne annuelle de Tête-Rousse ne sont évidemment qu'approximatives. Néanmoins, elles se rapprochent beaucoup de celles que d'autres considérations conduiraient à adopter. En effet, d'après M. de Lapparent (*Traité de géologie*, p. 84), pour voir la température diminuer de 1° il faut s'élever en moyenne, pour l'année entière, de 170 à 180 mètres, en France. Appliquant ces chiffres à la température moyenne annuelle de Chamonix en 1902, laquelle a été de 5°,52 à 1.044 mètres d'altitude, nous obtenons pour Tête-Rousse (altitude 3.188) les valeurs suivantes : avec le facteur 170°, — 7°,19; avec facteur 180, — 6°,39, lesquelles se rapprochent beaucoup de celles que nous avons calculées.

D'un autre côté, on a affirmé qu'en Suisse, pour une température moyenne annuelle de 10° à 360 m. d'altitude, on a 0 degré à 2.000 m. et — 10° à 3.600 m. De telle sorte qu'à une altitude de 3.188 m. et en supposant que la température décroît régulièrement de 2.000 m. à 3.600 m. on aurait une température moyenne annuelle de — 7°,4, chiffre également très approché des nôtres.

CONDENSATIONS ATMOSPHÉRIQUES

Les condensations atmosphériques se produisent sous toutes les formes au glacier de Tête-Rousse : rosée, pluie, grêle et neige. Notre attention ne s'est pas portée sur le phénomène de la rosée.

Pluie. — Aucune mensuration pluviométrique n'a été faite. Nous nous sommes contentés de recueillir sur les chutes de pluie les renseignements suivants :

ANNÉE	DATE	TEMPÉRATURE pendant la pluie
1901	17 septembre, vers 4 heures du soir.	+ 0°,0
	26 septembre, vers 5 heures du soir.	— 0°,8
	1er octobre, vers 6 heures du soir.	+ 0°,8
	3 octobre, vers 6 heures du soir.	— 1°,0
1902	10 juillet, pluie et grêle, température moyenne.	+ 2°,15
	13 juillet, vers 2 heures du soir.	+ 5°,4
	15 juillet, de 6 à 9 heures et demie du soir (orage).	+9° 8 à +8°,8
	16 juillet, de 4 à 7 heures du soir.	+6° à + 5°,5
	17 juillet, quelques gouttes vers 5 heures du soir.	+ 3°,0
	18 juillet, dans la soirée, moyenne.	+ 3°,5
	19 juillet, pluie et grêle, moyenne.	+ 1°,22
	27 juillet, 6 heures soir, orage.	+ 6°,07
	31 juillet au 1er août } de 10 heures soir à 9 heures du matin, pluie et neige. } température moyenne.	+ 3°,0
	2 août, pluie et neige de 7 heures du matin à midi.	+ 1°,5
	2 août, vers 5 heures du soir.	+ 3°,0
	7 août, quelques gouttes de temps à autre.	+ 3°,6
	25 août, pluie et neige, température moyenne.	+ 3°,5
	26 août, — —	+ 1°,3
	28 août, au soir, moyenne.	+ 3°,0
	29 août, température moyenne.	+ 2°,7
	30-31 août, dans la nuit, pluie et neige, température moyenne.	+ 0°,5
	31 août au 1er septembre, pluie dans la nuit, température moyenne.	+ 2°,0
	10 septembre, quelques gouttes vers midi.	+ 3°,5
1903	5 juillet, pluie fine et légère dans la matinée.	+ 3°,5
	17 juillet, vers 8 heures du matin.	+ 3°,2
	18 juillet, vers 8 heures du soir.	+ 5°,0
	18-19 juillet, pendant la nuit température moyenne.	+ 3°,5
	19 juillet, de 3 à 9 heures du soir, pluie et grêle, températ. moyenne.	+ 2°,0
	28 juillet, de 6 à 7 heures du matin.	— 0°,5
	2 août, à 5 heures (quelques instants).	+ 4°,0
	3 août, de 3 à 6 heures du soir.	+ 2°,0

ANNÉE	DATE	TEMPÉRATURE pendant la pluie
1903.	10 août, vers 2 heures et demie du matin, pluie très abondante.	+ 5°,5
	12 août, à 7 heures du soir.	+ 6°,0
	12-13 août, pluie et neige, température moyenne.	+ 3°,0
	15 août, pluie et neige toute la journée.	+ 0°,9
	18 août, vers 8 heures du matin.	+ 0°,8
	23 août, vers 9 heures du matin.	+ 6°,0
	25 août, vers 9 heures du matin.	+ 0°,2
	25 août, vers 3 heures du soir.	+ 0°,0
	6 septembre, vers 6 heures du soir.	+ 5°,7
	7 septembre, vers 1 heure du soir.	+ 3°,0
	8 septembre, vers 9 heures du matin.	+ 3°,3
	22 septembre, neige fondante.	+ 0°,0
	25 septembre, 11 heures du matin.	+ 0°,3
	1er octobre, à 6 heures et demie du soir.	+ 3°,0
	2 octobre { vers 6 heures du matin.	+ 0°,0
	2 octobre { vers 5 heures du soir.	— 1°,5

En 1901, ainsi que nous l'avons dit plus haut, les observations n'ont pas été faites en juillet ; mais le tableau précédent montre que les pluies ont été très rares au cours de cette année-là. Elles ont, par contre, été assez fréquentes en 1902 et 1903, et bien que le volume des eaux n'ait pas été mesuré, les constatations faites sur les lieux et consignées sur un carnet permettent de penser qu'il a plu davantage en 1902 qu'en 1903. La durée des chutes de pluie a été généralement très courte, au cours de cette dernière année, notamment à la fin d'août et au commencement de septembre.

Quelques chutes de pluie ont parfois été observées au-dessous de zéro (la température la plus basse a été de — 1°,5 le 2 octobre 1903).

Le tableau qui précède montre qu'elles se produisent le plus souvent vers + 3°.

Grêle. — La grêle tombe surtout pendant les orages.

Des orages à grêle nous ont été signalés en 1901 : du 20 au 21 septembre, et le 9 octobre.

En 1902 : nuit du 10 au 11 juillet, 15 juillet à 6 h. du soir, 27 juillet à 6 h. du soir ; 2 août de 5 h. et demie à 6 h. et demie du soir, 7 août à 6 h. et demie du soir, 8 août de 5 h. à 5 h. et demie ; 10 septembre de 10 h. du soir à 2 h. du matin (hauteur de grêle tombée en moyenne sur

le glacier, 1 centimètre et demi), 11 septembre dans l'après-midi, 12 septembre à 1 h. et demie du soir.

En 1903 : 30 juin ; 5 juillet, au déclin du jour et pendant la nuit, 19 juillet de 3 h. à 9 h. du soir ; 10 août vers 2 h. et demie du matin, 15 août dans la nuit du 15 au 16.

Neige. — Ce sont les chutes de neige qui sont la forme habituelle des condensations atmosphériques au glacier de Tête-Rousse.

On trouvera ci-dessous la nomenclature complète des chutes de neige qui se sont produites pendant les périodes d'observation, avec divers renseignements, tels que : 1° la température au commencement et à la fin de la chute ; 2° la direction et l'intensité du vent ; 3° la quantité de neige tombée (épaisseur moyenne de la couche, calculée d'après la mensuration faite sur une cinquantaine de piquets placés sur le glacier) ; 4° la densité de la neige tombée.

Les valeurs inscrites dans ce tableau pour la température au commencement et à la fin de chaque chute de neige ont été mesurées sur les courbes du thermomètre enregistreur, le surveillant s'étant contenté de noter, lorsqu'il a pu le faire, l'heure du commencement et celle de la fin. Il inscrivait en même temps la direction et l'intensité du vent.

Les hauteurs de neige tombée ont été déterminées par le procédé suivant : Au commencement du mois d'août 1901, nous avons fait planter verticalement sur le glacier 35 piquets disposés en trois rangées rectilignes. Les piquets I à XI inclus forment une première rangée ou rangée supérieure. Les piquets XII à XXII forment une deuxième rangée ou rangée moyenne. Enfin, les piquets XXIII à XXXV forment une troisième rangée ou rangée inférieure. Ces rangées sont d'ailleurs indiquées sur le plan. La hauteur d'émergence de ces piquets était mesurée à des époques très rapprochées, parfois tous les jours, le plus souvent tous les deux jours, sauf cependant en 1901, où les observations ont été faites à des intervalles assez éloignés. Afin d'assurer la continuité des mensurations, toutes les fois qu'un piquet était trop dégarni par la fusion, on l'enfonçait d'une quantité connue ; de même lorsqu'un piquet menaçait d'être recouvert sous un amas de neige, on en plaçait un autre immédiatement à côté de lui, et le nouveau piquet était soigneusement repéré au piquet primitif. Toutefois, il n'en a pas toujours été ainsi : les piquets originaux II, III et IV ont disparu au

début de l'année 1903 et les nouveaux piquets n'ont pas pu être repérés par rapport à eux. De même pour les piquets XXVI, XXVIII, XXIX, qui n'ont été visibles ni en 1902 ni en 1903, ensevelis, sans doute, sous une épaisse couche de neige.

Désignation du Mois	Désignation du Jour	Température en degrés centigrades au commencement de la chute de neige	Température à la fin de la chute de neige	Direction générale du vent	Intensité	Heure à laquelle la chute de neige a commencé	Heure à laquelle la chute de neige a fini	Hauteur de neige tombée en mètres	Densité de la neige tombée	Observations
					Année 1901.					
Août	15 au 16	+ 1°,5	— 4°,0	»	»	midi	midi	»	»	temp. moy. — 0°,6
	26	»	»	»	»	»	»	»	»	
	28	max - 1°,3	min. - 4°,5	»	»	toute la	journée	»	»	temp. moy. — 3°,0
Septembre	11 au 15	»	»	»	»	plusieurs	jours	»	»	temp. moy. — 3°,7
	17	0°	0°	»	»	4 h. du s.	6 h. du s.	»	»	
	24 au 25	0°	+ 2°,0	»	»	4 h. du s.	2 h. du m.	»	»	
					Année 1902.					
Juillet	19	»	»	S.-W.	assez fort	»	»	0.042	»	temp. moy. + 1°,2
	21	»	»	S.-W.	id.	»	»			d° 0°,5
	24	+ 1°	— 0°,3	S.-W.	id.	2 h. du soir	11 h. du s.	0.118	0.234	
Août	31 Jt -1 At	+ 5°	+ 0°,5	S.-W.	fort	10 h. soir	9 h. matin			pluie et neige.
	1	+ 1°,7	+ 1°,7	S.-W.	très fort	midi	1 h. soir			neige.
	1	+ 1°,8	+ 1°,7	S.-W.	id.	5 h. soir	9 h. soir	0.030		neige.
	2	+ 1°,6	+ 1°,3	S.-W.	id.	7 h. matin	midi			pluie et neige.
	2	+ 3°	0°	S.-W.	id.	5 h. soir	minuit			pluie et neige.
	12	temp. moy.	— 5°,1	S -W.	assez fort	toute la	journée			
	20	+ 4°,2	+ 2°,5	S.-W.	id.	8 h. matin	midi	»	»	
	25	temp. moy.	+ 3°,5	S.-W.	fort	toute la	journée	»	»	chutes peu impor-
	26	id.	+ 1°,3	S.-W.	très fort	id.	»	»	»	tantes, la neige
	29	id.	+ 2°,7	S.-W.	id.	id.	»	»	»	fond avec la pluie.
	30 au 31	id.	+ 0°,5	S.-W.	fort	pendant la	nuit	»	»	id.
Septembre	5	+ 4°	+ 0°,4	S.-W.	très fort	7 h. matin	4 h. soir	0.069	0.224	d. varie de 0.214
	6	— 1°	+ 1°	S.-W.	faible	4 h. matin	1 h. soir			à 0.232.
	6 au 7	»	»	»	»	»	»	0.005	»	
	12	+ 0°,6	+ 0°,8	S.-W.	fort	midi	1 h. soir	0.035		
	12	+ 0°,5	— 0°,6	S.-W.	id.	2 h. soir	4 h. soir		0.227	densité variable de
	13	»	— 3°,4	S.-W.	très faible	»	7 h. matin	0.207		0.220 à 0.232.
	13 au 14	temp. moy.	2°,8	S.-W.	id.	toute la n.	par interv.			
	24 au 25	id.	0°,0	S.-W.	fort	id.	id.			très faible chute.
	28 au 29	id.	— 6°,0	S.-W.	id.	id.	id.			
	29	id.	— 6°,5	S.-W.	id.	dans la	matinée	0.307	0.140	
	30 Sre -1 Ore	id.	— 6°,0	S.-W.	id.	dans la	nuit			
Octobre	1	id.	— 8°,0	S.-W.	très fort	dans la	soirée			

DÉSIGNATION du		TEMPÉRATURE en degrés centigrades		DIRECTION générale du vent	INTENSITÉ	Heure à laquelle la chute de neige a		HAUTEUR de neige tombée en mètres	DENSITÉ de la neige tombée	OBSERVATIONS
Mois	Jour	au commencement de la chute de neige	à la fin de la chute de neige			commencé	fini			
				Année 1903.						
Juillet	6	temp. moy.	+ 3°.5	S.-E.	très fort	toute la	journée	0.011	0.344	
	8	temp. app.	— 6°,0	S.-E.	fort	pendant	la nuit	»		très faible chute.
	12 au 13	id.	+ 3°,4	S.-E.	id.	id.	id.	»		id.
	20	— 1°,6	0°	S.-W.	faible	6 h. matin	2 h. soir	0.047	0.270	densité variable de
	21	— 4°,0	— 1°.6	S.	id.	id.	6 h. soir	0.020		0.222 à 0.325.
	23 au 24	+ 2°,5	— 3°,0	S.-W.	fort	4 h. soir	9 h. matin	0.125	0.266	d. v. de 0 203 à 0 309
	26	+ 1°,5	— 0°,4	S.-W.	id.	2 h. soir	11 h. soir	0.075	0.273	
	28	+ 0°,7	+ 0°,7	S.-E.	id.	midi	midi 1/2	»	»	chute très faible.
	30 au 31	+ 0°,8	— 0°,6	S.-E.	id.	9 h. soir	4 h. matin	0.025	0.256	
	31	temp. app.	+ 2°,0	S.-E.	léger	chute dans par	l'apr.-midi intervalles	»	»	chute très faible.
Août	2	+ 4°,2	+ 4°,2	S.	fort	5 h. soir	5 h. 1/2	»	»	pluie et grésil.
	3	+ 1°,3	+ 2°,0	S.	id.	2 h. soir	6 h. soir	»	»	pluie et neige.
	13	temp. moy.	+ 3°,5	S.-E.	id.	toute la n.	12 au 13	»	»	pl. et n., ch. peu imp.
	15	id.	+ 0°,9	S.	id.	toute la	journée	0.121	0.254	
	17	id.	— 1°,6	S.	id.	id.	id.	0.011		
	19	+ 0°,7	— 5°,5	S.	très fort	5 h. matin	9 h. soir	0.176	0.163	
	25	0°	— 0°,8	S.-W.	fort	4 h. soir	id.	0.074	0.190	
Septembre	10	+ 0°,4	— 0°,4	S.	id.	3 h. matin	7 h. matin	»	»	très faible chute.
	11 au 12	— 0°,3	— 7°,8	S.	très fort	7 h. matin	6 h. matin	»	»	id.
	13 au 14	— 4°,0	— 8°	S.	id.	5 h. matin	9 h. matin	0.200	0.139	
	15	temp. moy.	— 9°,9	N.-E.	id.	toute la	journée	0.069	0.179	
	16	id.	— 8°,6	N.-E.	id.	id.	id.			
	22	0°	— 1°,0	S.	faible	9 h. matin	6 h. soir	»	»	très faible chute.
	25	— 1°,3	— 1°,2	S.-E.	id.	8 h. matin	9 h. matin	»	»	id. suivie de pluie.
Octobre	3	— 3°,0	— 1°,0	S.	assez fort	6 h. matin	11 h. mat.	0.104	»	densité non mesurée.

Chaque année, au début de la saison, nous jalonnons la ligne primitive, et si l'un des piquets n'est pas encore visible, nous faisons planter, sur son emplacement, un piquet provisoire, sur lequel sont exécutées les mensurations. Lorsque la fusion a enfin découvert le piquet original, nous le repérons au piquet provisoire, afin d'assurer la continuité des observations, et le piquet provisoire est enlevé ou quelquefois conservé jusqu'à sa chute. Enfin, en dehors de ces 35 piquets et de ceux qui les remplacent momentanément, des mensurations ont été faites également sur 4 piquets, désignés sous les lettres A, A′, A″, B, depuis la fin de l'été 1902.

Il nous a été possible, par suite, de tracer l'histoire de chaque piquet.

Les hauteurs des piquets ont toujours été rapportées au niveau qu'ils avaient le premier jour. Si donc figurent des valeurs négatives, elles représentent les quantités dont les piquets auraient été réellement enfouis sous la neige s'ils avaient conservé leur hauteur primitive. Le niveau auquel est rapporté chaque piquet n'est qu'un niveau relatif, car, pour l'établissement des tableaux, nous avions supposé les piquets immobiles. En réalité, ils se sont déplacés, par suite du mouvement du glacier, mais ce déplacement n'exerce évidemment aucune influence sur la fusion ou l'enneigement, qui, par suite, ont bien exactement les valeurs obtenues par soustraction.

La fusion ou l'enneigement correspondant à une période déterminée varient sensiblement d'un piquet à l'autre. Ce qui intéresse particulièrement, ce sont les valeurs moyennes de ces deux facteurs, et elles nous ont permis d'établir : 1° un piquet moyen pour chaque rangée; 2° un piquet moyen général. Les piquets moyens ont été calculés comme s'ils avaient eu une hauteur initiale de 1 mètre au-dessus du glacier.

Les hauteurs de neige inscrites dans le tableau qui suit sont celles indiquées par le piquet moyen général.

Comment ont été mesurées les densités de la neige? Disons tout d'abord qu'elles n'ont pas été évaluées en 1901.

Des planches de un mètre carré de surface ont été placées sur le glacier, savoir: Une première à côté du piquet n° VI (rangée supérieure); une deuxième à côté du piquet n° XVIII (rangée moyenne); une troisième à côté du piquet n° XXX (rangée inférieure); une quatrième à côté de l'observatoire; une cinquième sur la partie inférieure du glacier, au voisinage de notre point trigonométrique B.

La planche n° 3, ayant été emportée par le vent, a été remplacée par la planche n° 5 qui, trop exposée aux courants aériens, recevait très rarement de la neige et ne fournissait, par suite, que fort peu d'indications. L'emplacement de ces diverses planches est figuré sur le plan du glacier.

Toutes ces planches à neige ont été fixées à la surface même du glacier, et non à une certaine hauteur au-dessus. Si, en effet, elles eussent été installées à un niveau supérieur, elles n'auraient presque jamais donné de renseignements : la neige eût été constamment balayée par le vent, toujours assez violent au moment des précipitations.

Après une chute de neige, on mesure l'épaisseur de la couche en diffé-

rents points de chaque planche; on obtient ainsi l'épaisseur moyenne de la couche, et l'on détermine le poids correspondant. Nous obtenons ainsi les éléments nécessaires à la détermination de la densité. Les chiffres qui figurent dans le tableau suivant pour les densités ne sont autres que les moyennes des densités fournies par chaque chute de neige.

Très rarement, les mensurations sur les planches ont pu être faites immédiatement après la chute de neige, qui se produit souvent la nuit, et, de plus, l'observateur n'est pas toujours sur place à la fin précise de chaque condensation. Aussi, les chiffres obtenus représentent-ils une valeur supérieure à la densité réelle, en raison du tassement rapide dont les masses de neige sont susceptibles. Toutefois, ils sont suffisants, si l'on considère que ce qui nous préoccupe le plus est l'abondance des précipitations.

L'examen de cette longue momenclature permet de faire les remarques suivantes :

Remarque I. — Les précipitations neigeuses se produisent généralement par des vents venant du sud-ouest et du sud. Cette observation ne présente rien de surprenant, et, à ce point de vue, le glacier de Tête-Rousse n'échappe pas à la règle générale, constatée depuis longtemps pour la France : les courants chargés d'humidité viennent, en effet, presque toujours du sud ou du sud-ouest. Cependant, quelquefois, nous avons noté des chutes de neige par des vents du sud-est, mais alors elles sont fort peu abondantes. Ces vents du sud-est sont toujours des courants descendants, provenant sans doute d'Italie, et qui, après avoir traversé les Alpes, viennent atteindre le glacier de Tête-Rousse après avoir franchi la crête neigeuse qui relie l'aiguille de Bionnassay au Dôme du Goûter. La tempête du 23 août 1903 était due à ce courant spécial.

Remarque II. — A part de rares exceptions, les condensations neigeuses se produisent par les vents très violents. Aussi n'est-il pas étonnant de voir certains points, particulièrement exposés, recevoir fort peu de neige, alors que d'autres, situés en arrière de crêtes qui les protègent et qui déterminent une zone de calme relatif, en reçoivent en plus grande abondance. Ce fait a été observé également à la crête des Alpes, au Grand et au Petit Saint-Bernard, dans les postes militaires d'hiver établis à la frontière franco-italienne.

Remarque III. — La neige tombe assez rarement par des températures

supérieures à zéro. Cependant, ces températures se rencontrent au début de la condensation. Par contre, les précipitations neigeuses se produisent fréquemment par des températures très basses, puisque certaines ont eu lieu par des froids de près de — 10°. Ces basses températures n'ont d'ailleurs rien d'anormal, puisque des chutes de neige ont été observées par — 19° au col de Fréjus (2.500 m.) pendant l'hiver 1901-1902, — 18° à la Turra, à la Redoute Ruinée, et, pour ne pas citer des stations de haute montagne, par — 16° à Modane, à Abondance, également pendant l'hiver 1901-1902.

Remarque IV. — La densité de la neige varie entre des limites très écartées. Nous avons dit plus haut que les valeurs obtenues pour la densité ne devraient pas être considérées comme représentant la densité des neiges fraîchement tombées, par suite de l'impossibilité fréquente de faire les pesées immédiatement après la chute ; de plus, on n'a fait parfois qu'une seule pesée pour plusieurs chutes, ce qui permettait à la neige de se tasser. Aussi convient-il de considérer les chiffres ci-dessus comme les maxima correspondant aux températures relevées.

Il n'est donc pas possible de rendre compte exactement de l'influence qu'exerce sur la densité la température au moment de la chute. Cependant, il est possible de s'en faire une idée en comparant certaines valeurs obtenues en 1903.

Alors que la neige tombée le 6 juillet par 3°,5 avait une densité de 0,344, nous voyons la neige recueillie après la chute du 13 au 14 août, qui s'est produite par des températures comprises entre — 4° et — 8°, ne plus peser que 139 grammes au décimètre cube.

D'où vérification de ce fait connu que, plus la température est basse au moment des condensations neigeuses, plus la densité de la neige fraîche est faible. Toutes les mensurations de neige faites en Savoie et en Haute-Savoie par le service du Reboisement, publiées ou résumées dans les bulletins météorologiques de ces deux départements, confirment d'ailleurs ce résultat.

Importance des précipitations atmosphériques annuelles. — Nos recherches ont porté sur les deux périodes suivantes, sensiblement égales entre elles, et correspondant chacune à peu près à une année : 1° du 30 septembre 1901 au 2 octobre 1902 ; 2° du 2 octobre 1902 au 5 octobre 1903.

ANNÉE 1901-1902. — Nous avons déterminé séparément : 1° la valeur des précipitations du 30 septembre 1901 au 14 juillet 1902; 2° la valeur des précipitations du 14 juillet 1902 au 2 octobre 1902.

Du 30 *septembre* 1901 *au* 14 *juillet* 1902. — Les précipitations du 30 septembre 1901 au 16 juillet 1902 correspondent à une couche de neige de 0,800 m. d'épaisseur moyenne, calculée d'après les chiffres fournis par 29 piquets. Cette couche est formée de strates superposées de densités évidemment variables. Or, c'est le 14 juillet qu'ont été exécutées les expériences destinées à faire connaître la valeur moyenne de cette densité. Il fallait donc, pour pouvoir faire application de cette moyenne, savoir quelle était, le 14 juillet, l'épaisseur totale de la couche tombée.

Du 14 juillet au 16 juillet, les piquets sur lesquels des mensurations ont été faites accusent une fusion. Cette fusion a été en moyenne de 0,117 m. (moyenne portant sur 14 observations). Admettons donc que, le 14 juillet, la couche totale avait une épaïsseur de 0,917 m.

Quelle est maintenant la densité moyenne applicable à cette couche ?

Le 14 juillet, nous avons fait découvrir un certain nombre de piquets jusqu'au niveau où se trouvait la neige le 30 septembre, et nous avons pris la densité de la neige en divers points, à l'aide de l'instrument décrit plus loin.

Nous avons ainsi obtenu 39 valeurs pour la densité, variant entre des limites assez rapprochées : le chiffre le plus élevé a été de 0,637 et le plus bas de 0,457. Les densités moyennes, calculées pour chaque piquet, variaient très peu, de 0,526 à 0,552, et la moyenne générale a été trouvée de 0,540.

C'est cette valeur que nous avons appliquée à la hauteur moyenne ci-dessus. Celle-ci correspond, par suite, à une hauteur d'eau de

$$0^{m},917 \times 0,540 = 0^{m},495.$$

Du 24 *juillet au* 2 *octobre*. — De la nomenclature des pages 158 et 159, nous tirons les renseignements suivants :

	MOYENNE		DENSITÉ		EAU
Le 24 juillet, il est tombé	$0^{m},118$ de neige		0,234	ce qui correspond à	$27^{mm},6$
Du 5 au 6 septembre	$0^{m},069$	—	0,224	—	$15^{mm},4$
Du 12 au 14 septembre	$0^{m},242$	—	0,227	—	$54^{mm},9$
Du 28 septembre au 1er octobre	$0^{m},307$	—	0,140	—	$43^{mm},0$



Enfin du 19 au 21 juillet, du 31 juillet au 2 août et du 6 au 7 septembre 1902, il est tombé une épaisseur totale de neige de 0,077 m. Aucune mesure de densité n'ayant été prise pour ces chutes, nous adopterons une densité de 0,250, un peu plus forte que celles inscrites ci-dessus, tenant ainsi compte de ce fait que ces chutes ont eu lieu à une température relativement élevée. Ces diverses chutes correspondent donc à une hauteur d'eau $= 0^{m},077 \times 0,250 = 19^{mm},3$.

Donc du 14 juillet au 2 octobre les précipitations représentent une lame d'eau de 160,2 mm.

En résumé :

Lame d'eau correspondant à la période du 30 septembre au 14 juillet.	495^{mm}
Lame d'eau correspondant à la période du 14 juillet au 2 octobre	160^{mm}
Lame d'eau correspondant à l'année 1901-1902.	655^{mm}

Année 1902-1903. — Deux périodes également : 1° du 2 octobre au 30 juin ; 2° du 30 juin au 5 octobre.

Du 2 *octobre* 1902 *au* 30 *juin* 1903. — Hauteur de neige tombée du 2 octobre au 2 juillet = 0,766 m. (chiffre obtenu par moyenne entre ceux donnés par 31 piquets).

Or, du 30 juin au 2 juillet, il y a eu fusion de 0,116 (moyenne entre les chiffres fournis par 18 piquets). Par suite, hauteur de neige au 30 juin $= 0,766 + 0,116 = 0,882$. La densité moyenne a été calculée, non pas en étudiant la répartition des densités dans la hauteur de neige tombée au niveau de certains piquets, mais en étudiant cette répartition dans les neiges tombées sur les 5 planches dont nous avons parlé plus haut ; 24 valeurs, variant de 0,417 à 0,602, ont été obtenues pour cette densité. Leur moyenne est peu variable d'une planche à l'autre, et leur moyenne générale est de 0,493. Par suite, la lame d'eau correspondant à la période du 2 octobre 1902 au 30 juin 1903 est de : $0,882 \times 0,493 = 0,435$ m.

Du 30 *juin au* 5 *octobre* 1903. — De la nomenclature des pages 20 et 21 nous extrayons les renseignements suivants :

	MOYENNE		DENSITÉ		EAU
Le 6 juillet il est tombé	0m,011 de	neige	0,344	ce qui correspond à	3mm,8
Les 20 et 21 juillet	0m,067	—	0,270	—	18mm,1
Du 23 au 24 juillet	0m,125	—	0,266	—	33mm,3
Le 26 juillet	0m,075	—	0,273	—	20mm,5
Du 30 au 31 juillet	0m,025	—	0,256	—	6mm,5
Les 15 et 17 août	0m,132	—	0,254	—	33mm,5
Le 19 août	0m,176	—	0,163	—	28mm,7
Le 25 août	0m,074	—	0,190	—	21mm,2
Du 13 au 14 septembre	0m,200	—	0,139	—	27mm,8
Les 15 et 16 septembre	0m,069	—	0,179	—	12mm,4
Enfin le 3 octobre	0m,104	—	0,200	—	20mm,8

Donc, du 30 juin 1903 au 5 octobre 1903, les précipitations neigeuses représentent une lame d'eau de 226,6 mm.

En résumé :

Lame d'eau correspondant à la période du 2 octobre 1902 au 30 juin 1903	435mm
Lame d'eau correspondant à la période du 30 juin 1903 au 5 octobre 1903	227mm
Lame d'eau correspondant à l'année 1902-1903.	662mm

Remarque I. — Les valeurs que nous venons d'obtenir sont égales à très peu près ; mais elles ne peuvent être considérées que comme donnant des valeurs approximatives.

En effet, elles ne contiennent pas les condensations tombées sous forme de pluie pendant les périodes estivales, et, d'autre part, il n'a été tenu aucun compte de l'évaporation. Sans doute, les pluies sont rares et peu abondantes, et l'on peut, sans commettre grande erreur, négliger la lame d'eau qu'elles fournissent ; mais, s'il est possible de considérer comme très faible l'évaporation correspondant aux neiges tombées en été, puisque les mensurations ont été faites très peu de temps après la chute, on ne saurait en dire autant de l'évaporation pendant l'hiver et le commencement des périodes chaudes, jusqu'au 14 juillet 1902 et au 30 juin 1903.

Il est vrai que cette évaporation, qui se produit surtout pendant le jour en raison de l'élévation plus grande de la température, a en général, et particulièrement pendant les nuits claires, une contre-partie; nous voulons parler de la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air, à la surface de la neige ou de la glace,

Malheureusement, on n'a, jusqu'à présent, aucune donnée précise sur cette évaporation et sur cette condensation. Aussi sommes-nous dans l'impossibilité de dire si les valeurs obtenues sont des minima.

Remarque II. — Nous avons considéré les quantités de neige tombées au niveau des piquets ou des planches pendant les périodes du 30 septembre 1901 au 14 juillet 1902 et du 2 octobre 1902 au 30 juin 1903 comme représentant (évaporation et condensation mises à part) exactement les précipitations correspondant à ces périodes. Cela conduit à supposer que les eaux résultant de la fusion superficielle à la fin de chacune des périodes ont été complètement absorbées par les couches de neige inférieures, et que, dans aucun cas, ces eaux n'ont pu traverser entièrement l'épaisseur totale de la lame neigeuse annuelle. Cette hypothèse est peut-être exacte. En effet, les densités obtenues, et dont les moyennes ont été de 0,540 en 1902 et 0,493 en 1903, montrent que les neiges n'étaient pas saturées. A cet état, on peut les considérer comme transformées en névé; mais, pour arriver à l'état de glace, elles auraient été susceptibles d'absorber encore de grandes quantités d'eau. Il convient toutefois d'observer que des neiges fraîches, présentant une densité aussi forte, sont bien près de se transformer en eau, et elles peuvent alors être considérées comme saturées. C'est ainsi que, le 22 décembre 1899, 24 millimètres de neige tombée se fondirent très brusquement, donnant 10 millimètres d'eau.

Remarque III. — Il reste maintenant à décrire la méthode employée pour la détermination des densités, ce qui permettra d'avoir une idée de la précision obtenue.

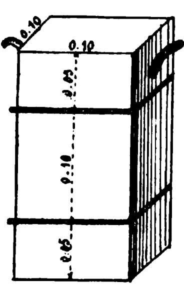


Fig. 1

Elle consiste simplement à peser un décimètre cube de neige. Pour prélever l'échantillon, nous faisons usage d'un appareil (fig. 1) formé d'un prisme droit, creux, en fer-blanc, de 0,20 m. de hauteur totale, d'une section carrée de 0,10 m. à l'intérieur. Trois de ses parois latérales sont pleines, avec des rainures en relief, distantes de 0,10 m. entre elles et respectivement à 0,05 m. de chaque extrémité du prisme. La quatrième paroi latérale est évidée au niveau des rainures, ce qui permet d'introduire dans chacune de celles-ci une cloison en fer-blanc, mobile. Ces deux cloisons mises en place limitent exactement, avec la paroi latérale, un volume de 1 décimètre cube. Les

bases inférieure et supérieure du prisme ne sont pas obstruées et les arêtes inférieures de celui-ci sont coupantes.

Après avoir choisi l'endroit où doit être prélevé l'échantillon, on enlève les cloisons mobiles. Puis on place l'appareil bien normalement à la surface neigeuse et on l'enfonce avec précaution, en frappant de petits coups sur la partie supérieure. Lorsqu'il est complètement enfoui dans la neige, on dégarnit à l'aide d'une truelle la paroi latérale évidée et on remet en place les cloisons mobiles. L'appareil enlevé, puis débarrassé de la neige restée adhérente à l'extérieur des cloisons, est alors pesé. La densité de l'échantillon s'obtient en retranchant du poids obtenu la tare de l'appareil vide.

Cet instrument peut être considéré comme suffisamment précis. En prélevant divers échantillons dans la même couche, c'est à peine si nous avons constaté des différences. Celles-ci ne sont pas supérieures à 3 ou 4 millièmes. Mais il est clair que la densité obtenue ne sera exacte qu'autant que l'appareil aura été bien construit et présentera une capacité d'un décimètre cube exactement.

Remarque IV. — Cherchons à nous faire une idée de la hauteur qu'atteindrait la neige si aucun tassement ne se produisait, c'est-à-dire en supposant que celle-ci conserve la même densité qu'au moment de la chute.

Prenant comme valeur de la lame d'eau la moyenne entre les deux chiffres calculés pour les années 1901-1902 et 1902-1903, savoir :

$$\frac{0,655 + 0,662}{2} = 0,658.$$

D'après les relevés nivométriques exécutés en Savoie et en Haute-Savoie pendant les quatre derniers hivers, la quantité moyenne de neige correspondant à 1 millimètre d'eau de fusion oscille, dans les stations basses, autour de 7 millimètres ; dans les régions supérieures, par exemple, dans les postes militaires de la frontière, de même que dans les agglomérations élevées, Val d'Isère, Bessans, ce chiffre moyen varie de 11 à 15 ; en certains cas même, la neige a été tellement légère, qu'il a fallu 28, 31, 48 et même 100 millimètres de neige pour donner 1 millimètre d'eau. Mais, en écartant ces anomalies et nous bornant aux indications ordinaires, on aura pour la hauteur de neige tombée à Tête-Rousse ;



Pour une équivalence de	15	millimètres par	millimètre d'eau de	fusion	$9^m,870$
—	13	—	—	—	$8^m,554$
—	11	—	—	—	$7^m,238$
—	9	—	—	—	$5^m,927$
—	7	—	—	—	$4^m,606$
—	5	—	—	—	$3^m,290$
—	4	—	—	—	$2^m,630$

L'équivalence de 4 est infiniment rare ; elle ne se rencontre guère qu'à Thonon, sur les bords du Léman ; celle de 15 peut se produire, mais n'est pas très fréquente. Laissons donc de côté ces extrêmes ; avec quelque vraisemblance, on pourra conclure que la hauteur totale de la neige tombée à Tête-Rousse en 1901-1902 et en 1902-1903 peut être considérée comme comprise entre 4 et 8 mètres par an. Ce dernier chiffre même nous paraît plus près de la réalité.

PÉNÉTRATION DU FROID DANS L'INTÉRIEUR DU GLACIER

Température intérieure. — La question de la température intérieure des glaciers présente un intérêt capital, en raison tout d'abord du rôle que certains glaciéristes ont fait jouer à la chaleur dans le phénomène de la marche des glaciers. M. J. Vallot, à la suite de ses expériences sur la marche et les variations de la Mer de Glace, dont les résultats ont été publiés dans les *Annales de l'Observatoire du Mont Blanc*, dont il est le directeur (année 1900, t. IV et V), a été conduit à admettre que « toute action de la chaleur doit être rayée des causes de la progression des glaciers » ; mais sa conviction est basée sur le fait, qu'il a établi d'une manière indirecte, que la vitesse de la Mer de Glace est indépendante de la saison, mais non sur des expériences de nature à donner des indications sur la répartition des températures dans la masse du glacier.

La connaissance de la température intérieure du glacier est, en outre, d'une grande importance à un autre point de vue : une masse d'eau peut-elle passer l'hiver dans une cavité intra ou sous-glaciaire sans se congeler ?

Il est reconnu que les radiations calorifiques pénètrent à une certaine

profondeur dans la glace, mais cette pénétration est limitée à une zone très mince. M. J. Vallot dit que la chaleur de l'été ne se propage probablement, dans le névé, que dans une couche de quelques mètres ; nous pensons que, dans le glacier, il faut réduire ce chiffre à quelques décimètres, pour des raisons tirées d'expériences encore incomplètes.

Mais si la chaleur peut ainsi pénétrer à travers une certaine épaisseur de glace, il est bien évident qu'elle ne saurait élever au-dessus de zéro la température d'un point déterminé, accessible aux radiations calorifiques : si un corps quelconque enfoui dans la glace devenait capable de s'échauffer, sa température serait immédiatement ramenée à zéro, puisque la chaleur qu'il aurait absorbée serait aussitôt employée à fondre une certaine quantité de glace.

Ainsi donc, la température de zéro doit être considérée comme la limite supérieure de la température à l'intérieur des glaciers. Mais quelle est sa limite inférieure : autrement dit, si les températures extérieures supérieures à zéro sont incapables de se faire sentir en profondeur (autrement qu'en donnant naissance à une certaine fusion), en est-il de même des températures extérieures inférieures à zéro ?

La température intérieure des glaciers a fait, au point de vue théorique, l'objet d'une étude de M. Forel. Pour cet auteur, il doit exister dans chaque glacier : 1° une couche superficielle de température variable ; 2° une couche profonde à température constante, qui varie avec le point du glacier étudié (0° dans les parties inférieures du glacier ; — 1° à — 2°, etc., dans les parties situées en amont).

Nous allons voir que ces vues théoriques ont été, en partie du moins, confirmées par nos expériences.

Première expérience. — Un thermométrographe ordinaire du commerce a été laissé, pendant tout l'hiver 1900-1901, dans l'une des galeries ouvertes dans le glacier, à une profondeur de 23 mètres environ. Le 31 juillet 1901, nous venions relever la température minima, et la trouvions égale à un peu moins de un demi-degré au-dessous de zéro. Cette observation manque de précision, par suite de l'imperfection de l'instrument employé.

Deuxième expérience. — Un thermomètre enregistreur a été laissé dans l'intérieur du glacier et au même endroit, toujours pendant l'hiver 1901-1902. Le mouvement d'horlogerie s'étant arrêté peu après la mise en place de

l'instrument, la plume est restée stationnaire; mais sa pointe étant restée constamment en contact avec la feuille d'observation, l'encre a pénétré dans le papier et a formé une tache circulaire dont l'intensité diminuait du centre au bord. Le centre de la tache était exactement à zéro. Donc, au point où était placé l'appareil, la température est restée constamment à zéro pendant tout l'hiver.

Troisième expérience. — Un thermomètre enregistreur a été placé pendant tout l'été 1901 au même endroit que le thermométrographe : il a constamment indiqué une température égale à zéro.

Quatrième expérience. — Pendant le même hiver, un autre thermomètre enregistreur est resté dans l'abri dont nous avons parlé. Le mouvement d'horlogerie s'est arrêté environ huit jours après le dernier remontage, et la plume, continuant son mouvement oscillatoire, a donné naissance à une tache allongée; l'extrémité inférieure de la tache correspondait à — 8°,5. Cette expérience était destinée à donner la valeur de la température minima de la période hivernale 1901-1902. Il serait bien étonnant que la température accusée fût la vraie; aussi faut-il admettre que la cage renfermant les appareils, ainsi que l'abri en pierre sèche, ont disparu pendant un certain temps sous une couche de neige qui a protégé l'appareil contre les froids les plus vifs. Comment la température minima de l'hiver 1901-1902 pourrait-elle avoir été seulement de — 8°,5 alors que le thermomètre est descendu jusqu'à près de — 10° pendant la période estivale ? Cette expérience donne une première idée du rôle protecteur de la neige.

Cinquième expérience. — Le 25 septembre 1902, la cage renfermant les appareils enregistreurs a été placée contre la paroi nord du laboratoire, à 2 mètres au-dessus du niveau du sol. Dans cette situation, elle ne devait probablement pas être recouverte de neige pendant l'hiver.

Le thermométrographe a été placé au fond d'une tranchée ouverte à la surface du glacier, entre les piquets VII et VIII de la première ligne. Cet instrument a été placé horizontalement au fond d'une caisse en bois, les index ont été mis en contact avec la colonne mercurielle, et ils accusaient une température de 15°. La caisse, fermée par un couvercle, a été immédiatement recouverte d'une épaisseur de 2,50 m. de neige.

Le deuxième thermomètre enregistreur a été installé dans l'une des anciennes galeries, à la place qu'il occupait l'année précédente, c'est-à-dire

à environ 23 mètres de profondeur au-dessous de la surface du glacier. Au moment de son installation, la plume marquait 1°,5; peu de temps après, elle était revenue à zéro. Ce thermomètre a été disposé de manière que, l'année suivante, on pût lire la température sans avoir à le déplacer.

Un thermomètre à minima à alcool, gradué en 1/5 de degrés, a été placé dans une autre des anciennes galeries, à une profondeur d'environ 15 mètres au-dessous de la surface du glacier, et son index a été soigneusement mis en contact avec l'extrémité supérieure de la colonne d'alcool. Cet index étant extrêmement mobile, l'instrument a été également disposé de manière à permettre de faire, l'année suivante, la lecture sans avoir à le toucher.

Le 1er juillet 1903, les indications de ces divers instruments ont été relevées ; voici les résultats obtenus :

1° Le thermomètre enregistreur extérieur indiquait une température minima, atteinte pendant l'hiver, de — 20°,5 ; la plume renfermait encore de l'encre et était capable de fonctionner.

2° Le thermométrographe a été trouvé enfoui sous une couche de neige de 4,70 m. d'épaisseur. Il accusait une température minima de — 3°. L'autre branche indiquait la température de 15°, qu'il avait lors de son installation. Les lectures ont été faites sans déranger l'appareil.

3° Le thermomètre enregistreur intérieur, de même que pendant l'hiver 1901-1902, s'est arrêté quelques jours après son installation ; mais la plume est restée immobile, et le centre de la tache à laquelle elle a donné naissance était exactement à 0°. La lecture a été faite sans toucher l'appareil, et ensuite il a été constaté que la plume renfermait de l'encre et était encore capable de tracer des traits.

4° Enfin, le thermomètre à minima à alcool, que l'on n'a pas dérangé pour faire la lecture, accusait exactement la température de 0°.

Conclusions à tirer de ces expériences. — Les expériences 1, 2, 3 et 5 montrent très clairement que la température intérieure du glacier de Tête-Rousse demeure invariablement égale à zéro, été comme hiver, au moins pour toutes les régions situées au-dessous de 15 mètres de profondeur.

D'autre part, la cinquième expérience établit nettement l'existence d'une zone accessible aux variations de la température extérieure, lorsque celle-ci s'abaisse au-dessous de zéro. Elle nous permet même de déterminer l'épaisseur de cette couche. Supposons, en effet, que la décroissance

de la valeur absolue de la température est proportionnelle à l'épaisseur de la couche, ce qui n'est pas exact vraisemblablement, à cause des différences des couches de neige plus ou moins tassée, de névé et de glace qui subissent l'influence du rayonnement. Comme la température minima mesurée à l'extérieur est de — 20°,5, nous pouvons appliquer cette valeur à la couche superficielle du glacier. Dès lors, nous avons, d'après la figure 2, en désignant par x la distance de la couche à température égale à zéro à la couche de température égale à — 3.

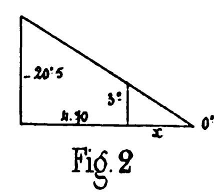


Fig. 2

$$\frac{x}{x+4{,}70}=\frac{3}{20{,}5} \text{ d'où } x=0{,}80$$

Par suite, la première couche dont la température reste constamment égale à zéro est à 5,50 m. au-dessous de la surface du glacier. Ce chiffre ne s'applique évidemment qu'à l'année 1903, et il semble rationnel d'admettre qu'il sera d'autant plus considérable que le froid extérieur aura été plus intense, et inversement.

Dans le calcul précédent, nous avons supposé que l'épaisseur de neige correspondant à la température de — 3° était de 4,70 m. Or cette épaisseur a été mesurée suivant la verticale. Il est rationnel d'admettre que la distance qui importe surtout à ce point de vue, c'est la plus courte distance du thermomètre à la surface. Dans ces conditions, si nous supposons au glacier une pente de 50 p. 100 au point considéré, la longueur CD (figure 3) n'est plus pour une longueur BC = 4,70 m. que de 4,20 m. Reprenant le calcul ci-dessus avec cette nouvelle donnée, nous trouverons pour x la valeur 0,70, et, pour l'épaisseur de la zone accessible aux variations de température, 4,90 m. seulement.

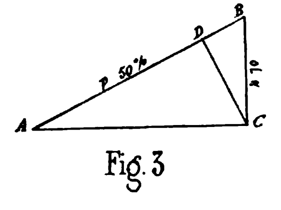


Fig. 3

Nous avons en partie fondé les calculs précédents sur la température minima atteinte pendant la période hivernale. Or, il est naturel de penser que le facteur qui influe sur la pénétration du froid, c'est la persistance des basses températures bien plus que la valeur minima de celles-ci. En appuyant nos calculs sur la température moyenne correspondante à la période hivernale, nous aurons donc plus de chances de nous rapprocher de la réalité. Si

nous supposons la température moyenne annuelle égale à — 7° par exemple, la température moyenne T applicable à la période hivernale peut être déterminée comme suit, en partant des températures moyennes annuelles calculées plus haut pour les mois de juillet, août et septembre 1903.

$$\frac{9\,T + 0°,92 + 2°,49 - 0°,67}{12} = -7°, \text{ d'où } T = -9°,6$$

Dès lors, reprenant nos calculs avec cette nouvelle valeur nous obtenons pour l'épaisseur de la zone accessible aux variations de température :

6,84 m., en supposant que le thermomètre était à une distance de 4,70 m. de la surface (distance mesurée verticalement) ;

6,10 m., en supposant que le thermomètre était à une distance de 4,20 m. de la surface.

Nous pouvons maintenant résumer ce que nous venons de dire de la température intérieure du glacier de Tête-Rousse.

La masse du glacier de Tête-Rousse est divisée, dans le sens de l'épaisseur, en deux parties, par une surface que l'on peut supposer sensiblement parallèle à la surface extérieure du glacier.

La partie supérieure est accessible aux variations de la température extérieure, dès que celle-ci s'abaisse au-dessous de zéro.

La partie inférieure jouit d'une température constamment égale à zéro.

La surface séparative varie, sans doute, d'une année à l'autre, selon l'intensité et la persistance des basses températures en hiver ; elle paraît être à une distance de la surface extérieure du glacier comprise entre 5 et 7 mètres ; en tout cas, cette distance est certainement inférieure à 15 mètres.

Remarque. — En somme, il faut une couche relativement mince de glace ou de névé pour mettre obstacle à la propagation du froid. Bien que la température moyenne annuelle atteigne une valeur très basse dans les parties les plus élevées du bassin de réception des glaciers, nous pensons que ceux-ci ont toujours une épaisseur suffisante pour que les couches inférieures puissent être constamment à une température égale à zéro. En tout cas, il en est inévitablement ainsi au-dessous de 3.000 mètres d'altitude.

Les glaciers jouent donc le rôle d'une enveloppe protectrice, au point de

vue de la pénétration du froid et de la chaleur à l'égard des vallées qui les renferment, et il devient, à nos yeux, difficile d'admettre maintenant que la vitesse des glaciers puisse être influencée par la température. C'est là une confirmation nouvelle des résultats obtenus par M. J. Vallot à la Mer de Glace.

NOTE

SUR

QUELQUES PARTICULARITÉS DE LA DÉTERMINATION

DES

STATIONS TOPOGRAPHIQUES

PAR RELÈVEMENT

Par **M. HENRI VALLOT**

I. — PROCÉDÉS DE RELÈVEMENT A LA PLANCHETTE

Nous avons déjà entretenu les lecteurs des *Annales* du mode d'emploi de la planchette pour les levés de détail de la carte au 20.000^e du massif du Mont Blanc (1). Qu'il s'agisse d'obtenir des points de repère supplémentaires au moyen de la grande planchette et de l'alidade holométrique, ou de lever le détail au moyen de la planchette ordinaire et de la règle à éclimètre, nous opérons toujours par *relèvement* : l'opérateur se met en station au point du terrain qui lui paraît le plus convenable pour le but cherché, et relève graphiquement sa position sur trois au moins des signaux en vue. Grâce à un réseau très serré de points trigonométriques (un point pour 1,5 km^2 en moyenne), l'opération est toujours possible, mais elle exige, pour être exécutée avec précision, quelques précautions spéciales. En effet, la principale difficulté de cette opération réside, comme on sait, dans la recherche de l'*orientation correcte* de la planchette,

(1) *État d'avancement des opérations de la Carte du massif du Mont Blanc à l'échelle du* 20.000^e, tome III, page 135.



orientation qui ne peut être obtenue à l'aide du déclinatoire, insuffisamment précis, ni à l'aide d'une direction précédemment tracée, puisque la station n'est pas prévue d'avance ; aussi est-on obligé d'avoir recours à un artifice consistant en une solution graphique par approximations successives ; nous employons dans ce but un procédé particulier qui, sans être absolument nouveau, ne nous paraît pas avoir encore été publié ; de plus, dans la haute montagne, il se présente certains cas difficiles qui nous ont conduit à faire intervenir dans la solution de ce problème planimétrique un élément supplémentaire (l'angle zénithal), auquel on n'a généralement pas recours dans la pratique habituelle. Tels sont les deux points principaux que nous nous proposons de traiter dans la présente note.

Procédé usuel de détermination du point de station. — On connaît le problème du relèvement sur trois points à la planchette ; le colonel Goulier en a donné une élégante solution (1), qui a été depuis reproduite dans plusieurs ouvrages (2), et qui est en usage dans les levés du Génie militaire. Nous nous contentons d'en rappeler le principe. On opère par *fausses positions successives*. Après avoir orienté la planchette d'une manière approchée et tracé les directions correspondant aux visées dirigées sur les trois signaux, on obtient, par le recoupement de ces directions, trois points ; on en choisit deux, appartenant à deux des segments capables dont l'intersection doit fournir le point de station. On donne ensuite à la planchette une orientation un peu différente, et l'on obtient deux autres points de ces segments que l'on joint d'une façon convenable aux deux premiers par des lignes droites se confondant suffisamment, sur une faible longueur, avec les arcs des segments capables. L'intersection de ces deux droites représente le point de station. On peut alors orienter la planchette d'une façon correcte pour les opérations subséquentes, et notamment vérifier, sur d'autres signaux, l'exactitude de la position obtenue.

Tout en reconnaissant les qualités de ce procédé, nous lui avons repro-

(1) *Études sur les levés topométriques et en particulier sur la tachéométrie.* Note C, § 9. Gauthier-Villars, 1892.

(2) Voir notamment : *Eléments de la Topographie*, par le colonel Crouzet, 3e édition, page 98. Nony, 1894.



ché, dès les premières applications que nous en avons faites, en 1895, d'exiger une grande attention et des tracés minutieux, puisqu'ils doivent tenir, en général, dans un espace de 1 à 2 millimètres, l'orientation première étant facilement obtenue au déclinatoire dans ces limites d'approximation. Quant à augmenter de propos délibéré, comme on l'a proposé, l'erreur de la position première pour agrandir les tracés, cela nous a paru irrationnel et surtout gênant pour les planchettes de levés de détail, que l'on doit alléger de toutes les lignes inutiles. Nous avons préféré *supprimer toute construction graphique* ; c'est ce procédé que nous allons exposer.

Procédé adopté dans les levés de la carte au 20.000° du massif du Mont Blanc. — On donne comme d'habitude à la planchette, en se servant du déclinatoire, une orientation approchée très voisine de l'orientation définitive (1). On trace les directions graphiques correspondant aux visées dirigées sur les signaux en vue au nombre de trois au moins ; chaque signal en plus fournit une vérification. Ces directions, comme on le sait, ne se coupent jamais exactement au même point ; si cette condition se trouvait remplie par hasard, cela indiquerait, ou que l'on est tombé du premier coup sur l'orientation vraie, ou que l'on se trouve dans un cas d'indétermination ; mais nous éliminons ce cas, parce que nous supposons que l'opérateur a dû choisir les signaux de manière à l'éviter.

Admettons, par hypothèse, que l'on fasse tourner la planchette de l'angle justement nécessaire pour lui donner son orientation correcte, et que l'on trace à nouveau les directions graphiques aboutissant aux mêmes signaux ; on fait alors aisément les constatations géométriques suivantes :

1° Chaque direction nouvelle fait, avec la direction première correspondante, un petit angle qui est de même grandeur et de même sens pour toutes, et qui est précisément égal et de sens opposé à celui dont a tourné la planchette.

2° Dans la région utile de la figure aux environs du point de station (région par hypothèse très limitée), deux positions successives de la même direction peuvent être considérées comme parallèles.

(1) Avec le déclinatoire à aiguille de 0,07 à 0,08 *m* on obtient aisément, sauf le cas de déviations locales, l'orientation provisoire à 1/300 ou 1/400 près.

3° Chaque direction pivotant autour du point qui représente sur la planchette le signal visé, il en résulte que l'écart entre les deux positions successives de cette direction aux environs du point de station est proportionnel à la distance de cette station au signal visé.

De ces remarques, résulte une propriété importante qui apparait sur les figures 1 et 2, la figure 1 étant un ensemble à petite échelle, au 200.000e par exemple, et la figure 2 représentant les environs du point de station à une échelle très agrandie, par exemple au 1.000e, de manière à rendre très apparentes les erreurs graphiques :

Le point cherché O est situé, pour l'observateur placé à la station et

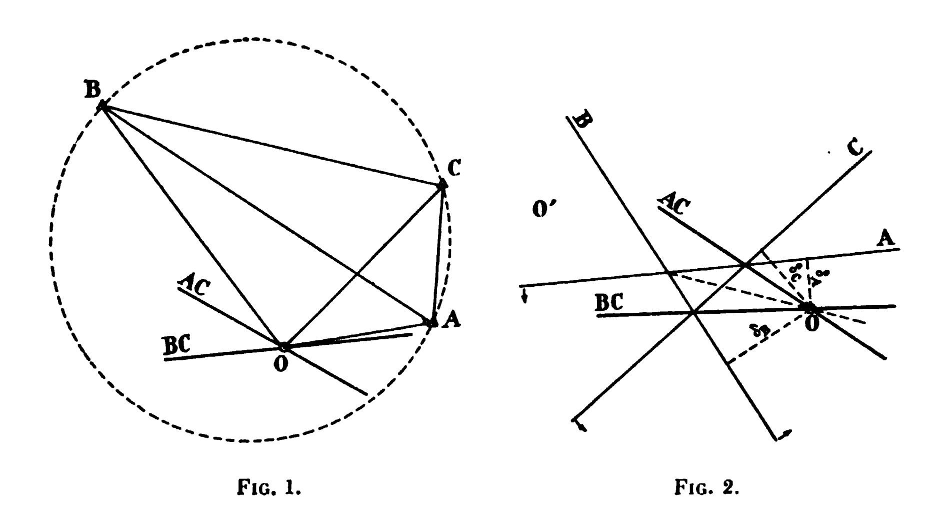


Fig. 1. Fig. 2.

regardant successivement les signaux A,B,C,... du même côté des directions provisoires tracées, et ses écarts $\delta_A, \delta_B, \delta_C, \ldots$ *à ces directions sont proportionnels aux distances* $d_A, d_B, d_C, \ldots$ *de la station aux signaux A,B, C,... correspondants.*

Par suite, une fois les directions provisoires tracées, il ne reste plus qu'à rechercher le point qui jouit de la propriété ci-dessus. Voici comment nous opérons pour faire cette recherche :

Toutes les directions tracées devant tourner dans le même sens pour être amenées à passer par le point O, ce point ne peut se trouver que dans la région O ou dans la région O'; admettons qu'il soit dans la première; le mouvement des droites A,B.C,... se fait dans le sens indiqué par les

flèches, et l'on arrive aisément à trouver un point satisfaisant aux relations :

$$\frac{\delta_A}{d_A} = \frac{\delta_B}{d_B} = \frac{\delta_C}{d_C} = ...$$

Si, au contraire, on place le point dans la région O', il est facile de se rendre compte, d'après les dispositions de la figure et la grandeur des éléments qui la constituent, qu'il est impossible de trouver un point satisfaisant à la fois aux diverses conditions énoncées ci-dessus (1).

Pour préciser la position du point O, prenons un exemple, et supposons $d_A = 4$, $d_B = 8$, $d_C = 6$. Il en résulte que $\frac{\delta_A}{\delta_B} = \frac{d_A}{d_B} = \frac{1}{2}$, et que $\frac{\delta_C}{\delta_B} = \frac{d_C}{d_B} = \frac{3}{4}$. Marquons, dans la région où doit se trouver le point O, un point qui soit deux fois plus rapproché de la droite A que de la droite B, et faisons mouvoir ce point tout en conservant le même rapport, c'est-à-dire en le promenant sur la droite qui aboutit à l'intersection de A et de B, jusqu'à ce que sa distance à la droite C soit les $\frac{3}{4}$ de sa distance à la droite B ; il occupera alors la position cherchée.

Il va sans dire que toute cette discussion et ces petits calculs se font mentalement, d'une manière très sommaire et rapide, et que cette recherche graphique se fait entièrement à vue, sans aucune construction, les déplacements du crayon, dont on maintient verticalement la pointe sur le papier dans les tâtonnements successifs, n'étant que de quelques dixièmes de millimètre. Enfin, il faut beaucoup moins de temps pour exécuter l'opération et arriver au résultat que pour la décrire.

La théorie précédente s'applique à un nombre quelconque de directions tracées ; il sera commode de s'appuyer sur celles des signaux les plus rapprochés pour rechercher une première position de la station ; pour définir le sens dans lequel doit se faire le déplacement des directions, le moyen le plus simple est de procéder par *suppositions* successives.

Lorsqu'on est arrivé à une position jugée satisfaisante du point de station, on fait passer le bord de l'alidade par ce point et par la projection de

(1) Nous n'insistons pas davantage sur cette recherche, parce que l'opérateur qui éprouverait quelques hésitations n'aurait qu'à recourir aux *diagrammes* de M. By, que nous reproduisons plus loin.



l'un des signaux les mieux visibles et les plus éloignés, et on imprime à la planchette un léger mouvement de désorientation, en sens inverse de celui dans lequel doivent tourner les premières directions tracées, jusqu'à ce que le signal soit exactement pointé par la lunette (1). En pointant successivement les autres signaux, les nouvelles directions tracées doivent toutes passer, à très peu de chose près, par le point choisi. Sinon, on opère par rapport à ces nouvelles directions comme par rapport aux premières.

Considérations sur la précision du procédé de relèvement à la planchette. — On ne peut pas espérer que le recoupement des directions soit absolument rigoureux, pas plus dans le relèvement que dans tout autre procédé de détermination d'un point sur le terrain ; il suffit qu'il soit *correct*, c'est-à-dire exempt de fautes ainsi que d'erreurs systématiques ; on reconnaîtra qu'on a atteint ce résultat, lorsque, en cherchant à modifier la dernière position obtenue pour le point de station, il sera impossible d'y arriver tout en respectant la proposition fondamentale énoncée plus haut ; alors ce dernier point devra être adopté comme bon.

Les causes d'erreur proviennent, soit de l'instrument employé (alidade à éclimètre), soit de la feuille de projection appliquée sur la planchette. Parmi les premières, une des plus importantes en haute montagne est due au défaut d'horizontalité de l'axe de rotation de la lunette (2) ; celle-ci ne décrivant pas un plan vertical, les directions se trouvent d'autant plus déviées que les visées sont plus inclinées. Parmi les secondes causes d'erreur, la principale provient de ce que la figure formée sur le dessin par l'ensemble des points trigonométriques n'est pas exactement semblable à celle formée sur le terrain par les signaux correspondants, ce qui tient plus encore aux défauts du placement graphique de ces points qu'aux déformations du papier, ces dernières n'ayant d'influence sur la valeur des angles que dans leurs inégalités locales.

Il importe de rappeler, en ce qui concerne l'erreur qui peut affecter la

(1) Lorsqu'on emploie l'*alidade holométrique*, la désorientation s'obtient avec une grande précision par la manœuvre d'une vis de rappel spéciale, sans toucher à la planchette.

(2) Dans son *alidade holométrique*, le colonel Goulier a remédié à cet inconvénient en introduisant, sous l'un des trois supports par lesquels repose l'instrument sur la planchette, un vérin à mouvement hélicoïdal, qui permet, en consultant une nivelle sphérique, de rétablir pour chaque visée l'horizontalité de l'axe de rotation de la lunette.

position d'un point déterminé graphiquement par relèvement, que la perfection apparente avec laquelle se recoupent les directions tracées n'est pas un indice suffisant de la petitesse de cette erreur. On sait, en effet, que la position du point O est donnée, non par l'intersection des directions tracées, mais par celle des arcs de *segments capables* des angles que ces directions forment entre elles, et qui passent par les signaux correspondants pris deux à deux (1). La figure 2 représente les arcs de segments capables (qui se confondent sensiblement avec des lignes droites à l'échelle de la figure), passant par A et C et par B et C, et l'on voit combien leur point d'intersection est différent de ceux des droites A, B et C.

Nous avons traité ailleurs (2) la question du tracé des segments capables ou lieux géométriques de relèvement, ainsi que celle de leur degré de précision ; nous renverrons donc à nos publications antérieures sur ce sujet ; nous rappelons seulement les principes suivants.

Si l'on considère l'ensemble des quatre points formé par la station O et trois signaux A, B, C (fig. 1), on obtient aisément la direction de la tangente à un segment capable, par exemple celui passant par A et C, en menant par le point O une droite faisant avec OA l'angle en C du triangle OAC, ou avec OC, l'angle en A du même triangle ; nous désignerons cette tangente par le symbole $\overline{AC}$.

Il est facile de déterminer, à priori, l'angle sous lequel doivent se couper les arcs de segments capables ou, ce qui revient au même, leurs tangentes. Traçons (fig. 3, 4 et 5) la circonférence circonscrite au triangle ABC ; les directions qui joignent le point O à ces trois points A, B, C, coupent cette circonférence en A′, B′, C′. Des considérations géométriques très simples montrent que :

(1) C'est là un point très important, et qui montre que le petit polygone formé par l'intersection des directions tracées *n'est pas un polygone d'erreur ;* ce sont les *arcs de segments capables* qui, par leurs intersections, forment ce polygone d'erreur. On trouvera les développements de cette proposition dans les ouvrages déjà cités du colonel Goulier et du colonel Crouzet, dans le *Traité d'Hydrographie* de A. Germain, chap. VIII, § 135, etc., et dans nos publications citées ci-après.

(2) Voir notre *Note sur la compensation graphique*, publiée dans le tome Ier des *Annales*, page 145, et nos *Instructions pratiques pour l'exécution des triangulations complémentaires en haute montagne*, pages 81 et 95 (G. Steinheil, éditeur, 1904). On trouvera dans ces publications la manière de tracer les segments capables et la définition de leur *distance fictive*, dont il est question plus loin.



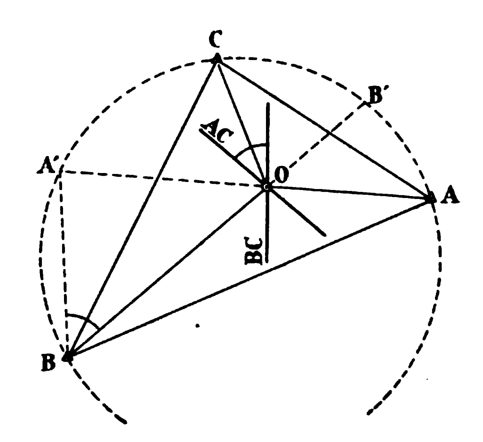


Fig. 3.

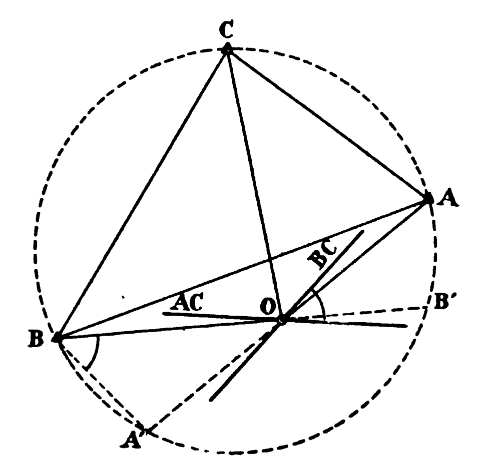


Fig. 4.

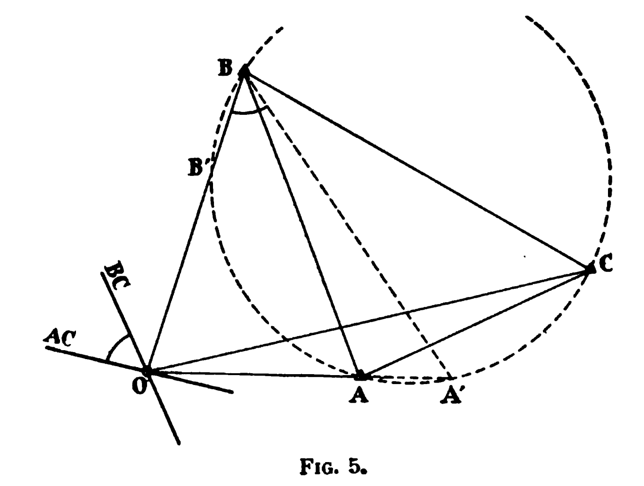


Fig. 5.

Tout angle inscrit dans la circonférence, et qui intercepte sur celle-ci l'arc	A B′	est égal à l'angle que forment entre eux les arcs de segments capables	$\overline{AC}$ et $\overline{BC}$
	A′ C′		$\overline{AB}$ et $\overline{BC}$
	B′ C′		$\overline{AB}$ et $\overline{AC}$

Les angles égaux sont marqués, sur chaque figure, par des arcs de cercle.

On sait que si la station se trouve sur la circonférence passant par les trois points A, B, C, le problème est indéterminé ; les segments capables ne se coupent plus, mais se confondent; on doit éviter, non seulement de tomber dans cette disposition, mais encore d'en approcher, sans quoi les segments se couperaient sous un angle trop faible et leur point d'intersection serait mal déterminé.

Le degré de précision du point d'intersection obtenu dépend non seulement de l'angle sous lequel se coupent les segments, mais encore du *poids* attribuable à chacun d'eux. Il nous suffit de rappeler que chaque segment (ou la droite qui le remplace) est un lieu géométrique caractérisé par une *distance fictive* dont l'expression est : $d = \frac{ab}{c}$, a et b étant les distances réelles du point de station à chacun des signaux par la projection desquels passe le segment capable, et c étant la distance de ces signaux entre eux ; ainsi la distance fictive propre au segment $\overline{AB}$ est : $d = \frac{OA \times OB}{AB}$. Rappelons encore que la direction qui se confond avec le segment $\overline{AB}$ dans sa partie utile peut être assimilée à une visée dirigée sur le point O et émanant d'un point *fictif* situé à la distance d ; la conséquence est qu'un segment aura d'autant plus de *poids* que la distance fictive correspondante sera plus faible. *Il importe donc que les distances réciproques des signaux sur lesquels on relève la position de la station soient de même ordre que leurs distances à cette station.*

II. — DIAGRAMMES FIGURATIFS DE M. BY

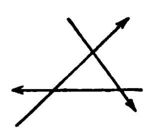
M. By, géomètre en chef du cadastre de la Haute-Savoie, aujourd'hui en retraite, nous a communiqué, en juin 1902, une note très intéressante qui établit d'une façon nette et précise, par des diagrammes figuratifs ingé-

nieusement combinés, les différents cas qui peuvent se présenter dans le problème du relèvement à la planchette. Ayant été chargé, dans le cours de sa carrière, d'opérations cadastrales en Algérie, dans lesquelles l'usage de la planchette était admis, M. By était arrivé de son côté à l'emploi d'un procédé pratiquement identique à celui que nous recommandons. Nous reproduisons ici la note de M. By, ainsi que la figure qui l'accompagne (fig. 6).

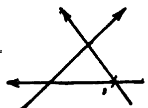
« **Détermination du quatrième point par la planchette. Méthode dite : du chapeau.** — Trois points A, B, C, étant donnés par leurs projections sur la planchette, trouver la position d'un quatrième point par une station faite sur ce point.

« Après avoir orienté la planchette au moyen du déclinatoire, on vise les trois points A, B, C, et on trace les trois directions correspondantes, en indiquant, par la pointe d'une flèche, le côté du point visé.

« Si ces trois directions se recoupent au même point, le problème est résolu (1) et le point cherché se trouve sur l'intersection des trois directions. Mais comme le déclinatoire ne donne pas, en général, une orientation parfaite, la troisième direction ne passe pas par l'intersection des deux autres, et il se forme un petit triangle qu'on a appelé *chapeau* (2) dont les parties extérieures présentent deux formes différentes, suivant que la station se trouve à l'intérieur ou à l'extérieur du triangle ABC.



« *Première forme :* trois prolongements en pointe alternant avec trois prolongements en queue ; station dans l'intérieur du triangle ABC.



« *Seconde forme* : trois prolongements en pointe consécutifs et trois prolongements en queue consécutifs ; station en dehors du triangle ABC.

« Afin de faciliter l'intelligence de ce qui va suivre, on fera remarquer que, dans cette seconde forme, chacune des six régions extérieures au

(1) A condition que les quatre points ne se trouvent pas sur une même circonférence. H. V.

(2) Nous avons expliqué précédemment que ce *chapeau* ne doit pas être confondu avec un *triangle d'erreur*, les directions qui le forment n'étant pas des lieux géométriques de la position du point cherché. H. V.

chapeau est définie *sans ambiguïté*, par les côtés du chapeau ou leurs prolongements de la manière suivante :

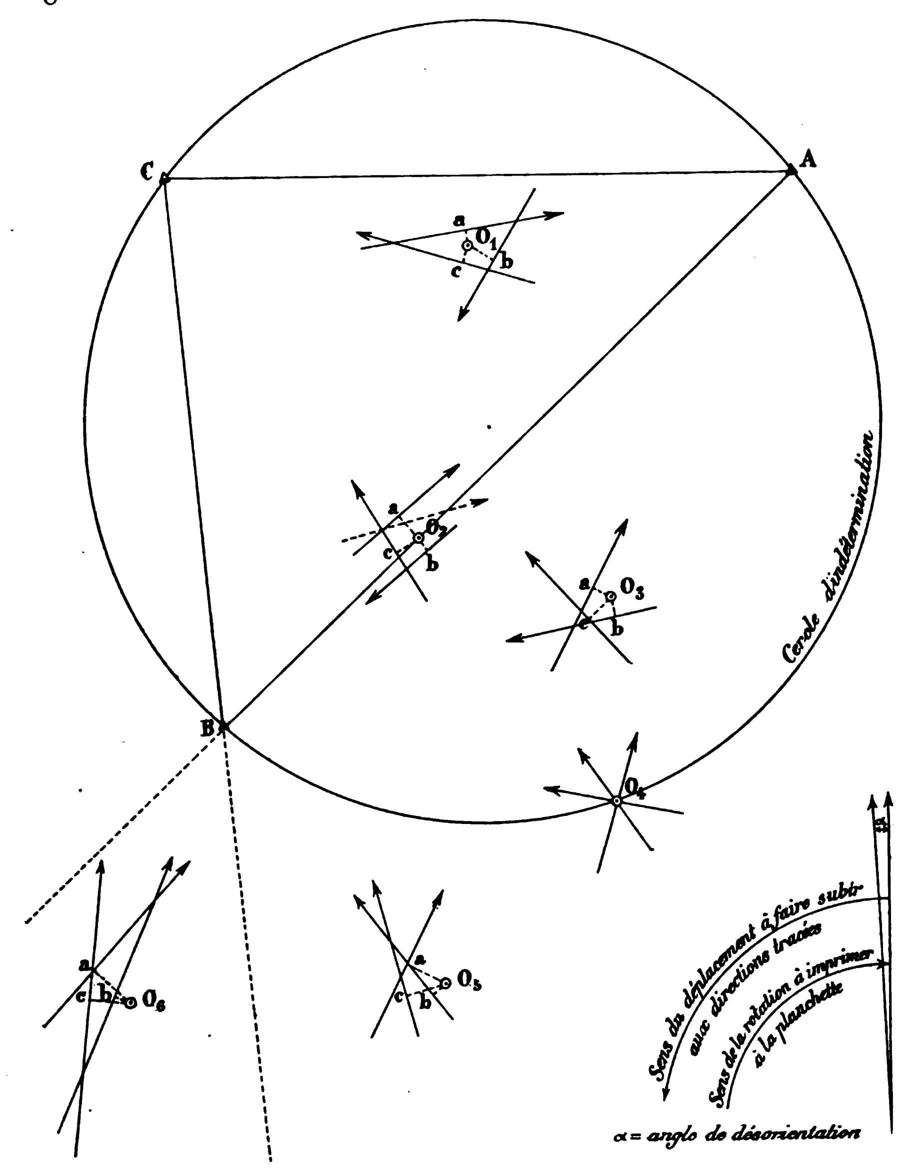


FIG. 6.

1. Deux pointes.
2. Deux queues.
3. Une pointe et une queue.
4. Deux pointes et un côté.
5. Deux queues et un côté.
6. Une pointe, une queue et un côté.

« Six cas peuvent se présenter, qui modifient la position du point par rapport au chapeau et à ses parties extérieures (fig. 6).

« PREMIER CAS. — La station se trouve en O_1, à l'intérieur du triangle ABC. Le quatrième point se trouve à l'intérieur du chapeau.

« DEUXIÈME CAS. — La station se trouve en O_2, sur l'un des côtés du triangle ABC. Le quatrième point se trouve dans l'intérieur du chapeau fictif que l'on obtiendrait en faisant tourner la parallèle intérieure de telle sorte que sa pointe rencontre la parallèle extérieure, ce qui ramène au premier cas.

« TROISIÈME CAS. — La station se trouve en O_3 en dehors du triangle ABC, mais à l'intérieur du cercle circonscrit à ce triangle, ou *cercle d'indétermination*. Le quatrième point se trouve alors à l'extérieur du chapeau, dans la région formée par un prolongement en pointe, un côté de chapeau, et un prolongement en queue. L'emploi de ce cas exige que la station soit assez loin du cercle d'indétermination pour ne pas se rapprocher du cas suivant.

« QUATRIÈME CAS. — La station se trouve en O_4, sur le cercle d'indétermination. La troisième direction ne vérifie plus l'opération, puisque les trois directions se coupent forcément au même point quelle que soit l'orientation donnée à la planchette ; on est donc obligé de se fier entièrement à l'orientation obtenue au déclinatoire ; ce cas doit donc être évité.

« CINQUIÈME CAS. — La station se trouve en O_5, en dehors du cercle d'indétermination et à l'extérieur des angles opposés par le sommet à ceux du triangle ABC. Le quatrième point est alors dans la région formée par un prolongement en pointe et un prolongement en queue. Dans ce cas le chapeau n'est jamais bien grand, et la solution comporte toujours une certaine indécision.

« SIXIÈME CAS. — La station se trouve en O_6, en dehors du cercle d'indétermination, mais à l'intérieur de l'un des angles opposés par le sommet à ceux du triangle ABC. Le quatrième point est alors dans la région formée par un prolongement en pointe, un côté et un prolongement en queue, comme dans le troisième cas.

« Le cas intermédiaire entre les deux précédents, où la station se trouve sur le prolongement de l'un des côtés du triangle, n'offre rien de particulier. On rentre dans le cinquième ou dans le sixième cas, suivant que les deux directions parallèles se trouvent à l'extérieur ou à l'intérieur de l'angle opposé par le sommet.



« *Placement du quatrième point.* — La situation du point étant connue par les règles qui précèdent, on le place *au jugé*, d'après la proportion :

$$Oa : Ob : Oc :: OA : OB : OC$$

dans laquelle OA, OB, OC représentent les distances de la station aux points connus A, B, C, et Oa, Ob, Oc, les distances du quatrième point aux trois côtés du chapeau (1). Ensuite, on oriente de nouveau la planchette sur celui des trois points connus qui est le plus éloigné, et l'on refait les visées comme vérification ; il arrive quelquefois qu'il se forme encore un petit chapeau ; on opère alors sur celui-ci comme on a opéré sur le premier que l'on aura préalablement effacé. Avec un peu d'habitude dans le placement du point, on évite presque toujours ce tâtonnement. »

III. — UTILISATION DES ANGLES ZÉNITHAUX DANS LA DÉTERMINATION DES STATIONS PAR RELÈVEMENT

Considérations générales. — Pour fixer, en topographie, la position d'un point, on détermine d'abord, par des mesures goniométriques ou goniographiques azimutales, la position planimétrique de sa projection sur un plan horizontal ; puis, par des mesures d'angles zénithaux, on détermine sa hauteur au-dessus de ce plan. Eu égard aux conditions dans lesquelles se présente le problème dans le cas général, et à la grandeur relative des divers éléments qui concourent à en fournir la solution, cette manière de procéder est rationnelle. En effet, il résulte de la conformation ordinaire du sol, que la figure formée dans l'espace par les points constituant un canevas trigonométrique ou topographique diffère assez peu de sa projection pour qu'on ait presque toujours avantage à obtenir cette projection elle-même, soit par des réductions convenables, soit directement au moyen d'instruments appropriés.

Ainsi, grâce à la verticalité des pinnules ou au montage des lunettes sur des axes horizontaux, les angles que forment les directions azimutales obtenues par des visées sur les points d'un canevas sont exactement ceux

(1) On voit que le procédé de M. By, pour le placement du point de station, coïncide exactement avec le nôtre. H. V.



qui mesurent les angles dièdres formés par les plans passant par les verticales de ces points ; ceux-ci ne sont donc représentés que par les traces de leurs verticales sur la surface de projection. La détermination de leur hauteur au-dessus de cette surface est le résultat d'une opération spéciale et indépendante : la mesure des angles zénithaux.

Mais, à considérer le problème dans sa généralité géométrique, il n'y a rien d'obligatoire dans cette séparation des opérations. Les applications de l'astronomie à la géographie et à la navigation offrent des exemples nombreux de l'emploi des mesures zénithales dans la détermination des positions géographiques, et certains cas peuvent se présenter en topographie où cet emploi peut devenir avantageux dans la recherche des positions planimétriques (1).

Géométriquement, un point est déterminé dans l'espace par l'intersection de trois surfaces. En topographie, chacune de ces surfaces est un *lieu géométrique* de la position du point, et peut être considérée comme résultant d'une ou plusieurs observations ou mesures instrumentales. En planimétrie, on détermine, par l'intersection de deux surfaces, la verticale du point cherché ; la trace de cette verticale sur la surface de projection donne la position planimétrique du point ; ainsi, une mesure azimutale, prise par rapport à une origine quelconque mais définie, sur un point inconnu, détermine un plan vertical passant par la station et le point inconnu. Si l'opération est renouvelée depuis une seconde station, on obtient un deuxième plan vertical, dont l'intersection avec le premier fournit la verticale du point inconnu (procédé d'intersection).

Si, depuis une station de position inconnue, on mesure l'angle dièdre entre les verticales de deux signaux connus, on détermine ainsi *le lieu* de la verticale de la station : c'est un cylindre de révolution à axe vertical dont la trace sur le plan de projection est le segment capable de l'angle observé, passant par les projections des deux signaux. La verticale de la station peut être alors fournie, soit par l'intersection de ce cylindre par un autre cylindre analogue (procédé de relèvement), soit par son intersection

(1) Nous avons déjà signalé plusieurs cas d'emploi de ce procédé : en hydrographie, par l'amiral MOUCHEZ (côtes de Tunisie, île Saint-Paul) ; en topographie, par le colonel PRUDENT ; voir *Annuaire du Club alpin français*, 1890, p. 485 ; voir aussi notre *Manuel de Topographie alpine*, p. 99 (H. Barrère, éditeur, 1904).



par un plan vertical issu d'une autre station (procédé de recoupement).

La troisième surface nécessaire pour définir complètement la position topographique d'un point est fournie par la mesure d'un angle zénithal qui équivaut à la description d'un cône de révolution dont l'axe vertical coïncide avec la verticale de la station si celle-ci est connue de position, ou avec la verticale du point visé si c'est celui-ci qui est connu.

La position topographique d'un point peut être repérée sur sa propre verticale par l'intersection de celle-ci avec un cône défini par l'une des deux manières qui viennent d'être dites : c'est le procédé habituel ; mais il est bien évident que l'on peut concevoir aussi ce point comme déterminé par l'intersection de deux cônes et d'un plan, de deux cônes et d'un cylindre, ou de trois cônes. Ou enfin, passant de l'expression géométrique abstraite au langage topographique et nous bornant au problème du relèvement, nous pouvons, à la mesure habituelle de deux angles azimutaux et d'un angle zénithal (minimum géométriquement indispensable pour définir complètement la position de la station), substituer un angle azimutal et deux angles zénithaux, ou même trois angles zénithaux, et ceci, bien entendu, sans préjudice des observations surabondantes ou mesures de vérification.

Laissant de côté le dernier cas, qui n'a guère qu'un intérêt de curiosité, nous nous attacherons seulement au second, celui dans lequel on fait concourir à la recherche de la position de la station un deuxième angle zénithal.

Dans quelle mesure cette dérogation aux règles généralement admises en topographie est-elle légitime ? Dans quelles circonstances particulières devra-t-on y avoir recours ? C'est ce que nous nous proposons de rechercher maintenant.

Pour préciser le problème et sortir des abstractions, nous supposerons qu'il s'agit d'obtenir par relèvement la position d'une station par des opérations graphiques au 20.000^e, soit dans le cas d'une triangulation précise exécutée à la grande planchette et à l'alidade holométrique, soit dans le cas d'un levé de détail exécuté à la règle à éclimètre.

On peut aisément se rendre compte à priori, par un exemple très simple, de l'avantage qui peut résulter, en haute montagne, de l'utilisation des angles zénithaux pour préciser la position d'un point. Supposons une sta-



tion O, située sur un versant incliné de 60 0/0, et d'où l'on vise deux signaux S et S', situés dans le même plan vertical, l'un au sommet, l'autre au pied du versant opposé, de même inclinaison.

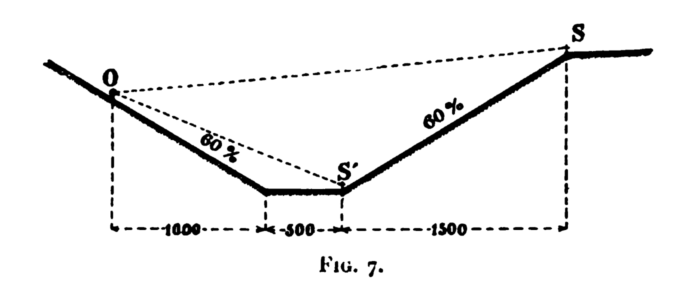


Fig. 7.

Avec les données de la figure 7, on trouve que les deux visées zénithales se coupent sous un angle de 30° environ ; leur intersection, résultant de mesures *goniométriques* dont la précision peut atteindre une minute centésimale ou 1/6400, donnera donc un lieu géométrique de la position de O avec bien plus de précision que ne pourraient le faire des directions planimétriques *graphiques*, facilement erronées de 1/2000, et même davantage, si l'on fait entrer en ligne de compte l'erreur d'orientation, même si ces directions se coupent sous un angle plus ouvert (1).

Estimation des erreurs altimétriques et planimétriques. — Soit O la station d'où l'on a visé le signal S ; l'angle de pente correspondant est i (2). Si l'on suppose connues les altitudes de ces deux points, et par suite leur différence de niveau, on peut utiliser l'angle de pente pour en déduire leur distance horizontale. Admettons maintenant que l'on ait commis, sur la mesure de l'angle i, une erreur ε ; il en résultera, pour la position de la station, un déplacement OO′ facile à calculer. On a en effet :

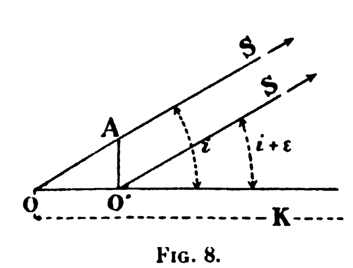


Fig. 8.

$$AO' = (K - OO') [\text{tang } (i + \varepsilon) - \text{tang } i]$$

Mais, pour le calcul de l'erreur AO′, on peut négliger OO′ devant K.

(1) L'utilisation des *intersections verticales* a déjà été signalée par M. E. Deville, *Surveyor general* des territoires canadiens, dans son ouvrage : *Photographic surveying*, publié à Ottawa en 1895, § 133.

(2) L'angle de pente est, comme l'on sait, complémentaire de l'angle zénithal.



D'autre part, eu égard à la petitesse de ε devant i (l'angle de pente, dans l'hypothèse actuelle, ayant toujours une valeur notable), on peut considérer ε comme étant la différentielle di de l'angle i ; or :

$$d\,(\mathrm{tang}\,i) = (1 + \mathrm{tang}^2 i)\,di$$

par suite, en revenant aux différences finies :

$$\mathrm{tang}\,(i + \varepsilon) - \mathrm{tang}\,i = \varepsilon\,(1 + \mathrm{tang}^2 i)$$

D'autre part :

$$OO' = \frac{AO'}{\mathrm{tang}\,i}$$

Par conséquent, on peut écrire :

$$OO' = \frac{K\varepsilon\,(1 + \mathrm{tang}^2 i)}{\mathrm{tang}\,i}$$

Ce déplacement du point de station est calculé dans la seule hypothèse d'une erreur commise sur la mesure de l'angle de pente ; mais il faut compter que les altitudes relatives des signaux sur lesquels se fait le relèvement ne sont pas rigoureusement exactes ; il peut résulter de ce chef, sur la différence de niveau, une erreur h que, pour plus de simplicité, nous additionnerons avec AO', et nous aurons en définitive, en représentant OO' par d_1K :

$$d_1K = \frac{K\varepsilon\,(1 + \mathrm{tang}^2 i) + h}{\mathrm{tang}\,i}$$

D'autre part, dans la détermination graphique de la position d'un point par des opérations planimétriques, les erreurs commises sont : ou constantes, ou proportionnelles aux distances de ce point aux signaux sur lesquels la détermination est basée. L'erreur de position de la station O par rapport au signal S peut donc être représentée par une expression telle que :

$$d_2K = \delta + \lambda K$$

δ étant l'erreur *métrique* correspondant à la limite d'appréciation *graphique* de la position du point, et λ un coefficient de proportionnalité tenant compte de ce que l'indétermination résultant des constructions graphiques est d'autant plus grande que les lignes tracées sont plus longues.

Pour que le procédé qui consiste à déduire la distance K de la mesure de



l'angle zénithal prenne la supériorité sur le procédé ordinaire de détermination planimétrique, il faut que l'on ait :

$$d_1K \leqq d_2K$$

$$\text{ou : } \frac{K\varepsilon\,(1 + \text{tang}^2\, i) + h}{\text{tang}\, i} \leqq \delta + \lambda K$$

Résolvant par rapport à K, en prenant tang i comme variable :

$$K \leqq \frac{\delta\, \text{tang}\, i - h}{\varepsilon\,(1 + \text{tang}^2\, i) - \lambda\, \text{tang}\, i}$$

On voit immédiatement que, K étant essentiellement positif, l'application de cette formule ne devra se faire qu'entre les deux limites :

$$\text{tang}\, i = \frac{h}{\delta} \text{ et : } \sin 2i = \frac{2\varepsilon}{\lambda}.$$

Nous avons déjà, dans un précédent travail (1), donné quelques indications sur les erreurs admissibles dans les opérations altimétriques et planimétriques à la planchette. Nous supposons d'abord que l'on opère, pour des levés précis au 20.000e, avec l'*alidade holométrique* du colonel Goulier ; et, pour pouvoir affirmer avec certitude la supériorité du procédé altimétrique dans les limites que nous allons calculer, nous attribuerons aux opérations planimétriques la plus grande précision dont elles nous paraissent susceptibles.

Dans ces conditions, nous admettrons : que la position absolue d'un point sur la planchette ne peut guère être définie pratiquement à moins de 0,2 mm. près, soit à 4 mètres près, d'où : $\delta = 4$; que l'erreur relative λ des distances graphiques, provenant soit des inégalités de variation du papier, soit du placement incorrect des points trigonométriques sur la feuille de projection, soit des inexactitudes des opérations planimétriques sur le terrain, atteint au moins de 0,2 mm. sur 40 centimètres, soit 1/2000. Quant aux angles zénithaux, on peut admettre qu'ils sont mesurés à 1', soit $\varepsilon = 1/6400$; nous prendrons $h = 0{,}50$ m. comme incertitude de l'altitude relative des signaux.

(1) *Note sur une formule du colonel Goulier pour le calcul des moyennes dans les nivellements trigonométriques*, t. III des *Annales*, p. 119.



La formule qui donne le maximum de K devient :

$$K \leqq 1000 \frac{4 \operatorname{tang} i - 0,5}{\frac{1 + \operatorname{tang}^2 i}{6,4} - 0,5 \operatorname{tang} i}$$

applicable théoriquement entre les limites $\operatorname{tang} i = 0,125$ et $\operatorname{tang} i = 0,351$; pour cette dernière valeur, la limite de K deviendrait infinie *algébriquement*, ce qui montre que, pour cette inclinaison et pour toutes celles au-dessus, l'avantage du procédé par les mesures zénithales est assuré dans tous les cas.

Voici les résultats d'application de cette formule :

$\operatorname{tang} i =$	0,125	0,15	0,175	0,20	0,225	0,25
i (grades) =	7,92	9,48	11,03	12,57	14,09	15,60
K mètres $\geqq$	0	1180	2720	4800	7750	12190

On ne doit pas attribuer à ces chiffres, bien entendu, une signification autre que celle que peut leur donner la formule d'où ils sont tirés, et dans les éléments de laquelle entre forcément une part d'arbitraire ; mais une modification dans l'appréciation de ces éléments déplacerait simplement les limites d'application, sans changer la conclusion qui en découle.

Dans le cas où l'on emploie la *règle à éclimètre*, on ne doit compter que sur une approximation de $2' = 1/3200$ dans la mesure des angles de pente ; l'erreur graphique proportionnelle à la distance doit être évaluée à 1/1000, à cause de l'incertitude plus grande des recoupements, due à la déviation des directions provenant surtout de ce qu'on ne peut pas amener la lunette de l'éclimètre à décrire un plan rigoureusement vertical. Il résulte de ces données que, pour les mêmes valeurs de tang i, la valeur de K est deux fois moindre, sans changement, d'ailleurs, de la limite à partir de laquelle le procédé est applicable ; mais comme, d'autre part, les distances des signaux sont moindres pour le levé de détail que pour la triangulation graphique, la conclusion reste la même que ci-dessus et nous la formulerons ainsi :

Dans les relèvements à la planchette, les angles de pente dépassant une limite que l'on peut pratiquement fixer entre 10 *et* 15 *grades seront plus utilement employés pour préciser la position planimétrique de la station que pour déterminer son altitude, et ce procédé donnera, sur les construc-*

tions graphiques habituelles, un avantage d'autant plus marqué que les angles de pente seront plus considérables et les distances plus faibles.

Pratique de l'opération. — Dans les relèvements précis à la planchette, il est nécessaire de disposer de quatre signaux au moins pour avoir une vérification de l'opération ; lorsque le réseau trigonométrique est serré, on dispose même souvent d'un plus grand nombre de signaux. Quand on a obtenu, au moyen des opérations planimétriques ordinaires, une position aussi approchée que possible de la station, on en calcule l'altitude en s'appuyant sur les signaux qui donnent les angles de pente les plus faibles, c'est-à-dire au-dessous de la limite précédemment fixée. La légère incorrection qui existe sur la position de la station n'influera pas d'une façon sensible sur cette altitude, parce que, les angles de pente étant faibles, l'erreur de distance ne se répercutera pas d'une manière appréciable sur la différence de niveau ; donc, l'altitude de la station peut être considérée comme connue.

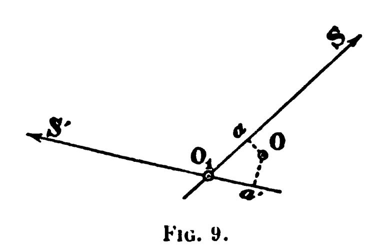


Fig. 9.

Supposons que, parmi les signaux, il s'en trouve deux, S et S', dépassant l'inclinaison limite ; on calculera le déplacement O_1a que doit subir la position de la station, suivant la direction S, et dans le sens convenable, pour faire cadrer l'altitude déduite de ce signal avec celle admise comme exacte. On fera le même calcul pour le déplacement O_1a' dans la direction S'. La position définitive O se trouvera à l'intersection des perpendiculaires aO et a'O élevées respectivement sur O_1S et O_1S' (1).

Les déplacements tels que O_1a, O_1a' se calculent par la formule :

$$dK = \frac{dH}{\text{tang}\, i}$$

dans laquelle dH représente la discordance entre l'altitude supposée connue de la station et celle calculée par l'angle de pente i correspondant au signal S et par la distance O_1S ; de même pour le signal S'. Le sens dans lequel doit être porté dK sera précisé plus loin. Les conditions qui précèdent

(1) Nous rappelons qu'il s'agit ici de constructions faites *à vue*, car l'ensemble de cette petite figure tient d'habitude dans un espace d'un millimètre.

sont généralement celles dans lesquelles se trouvent les stations de triangulation graphique en haute montagne ; mais, dans ces régions, les stations de détail ne sont pas toujours aussi favorablement placées. Souvent, au fond d'une gorge profonde, d'où le secteur de visibilité est très limité, sur un versant boisé, d'où les échappées ne permettent que des vues incomplètes, les signaux visibles sont en nombre restreint, et mal disposés pour une bonne détermination par relèvement ; les visées qui y aboutissent forment sur la planchette un faisceau de droites ayant toutes à peu près la même direction. Il est bien évident que, dans ces conditions, l'orientation de la planchette ne peut guère être obtenue qu'au déclinatoire. Quant à la position du point de station, elle ne peut pas être précisée, dans le sens de la longueur du faisceau, par des intersections de droites se coupant

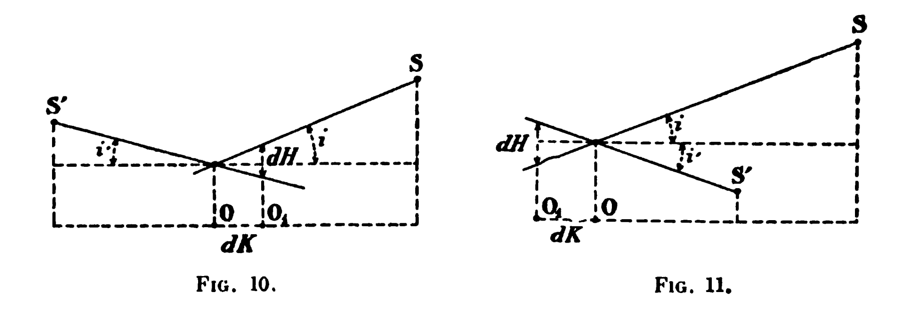


FIG. 10. FIG. 11.

sous des angles aussi aigus. C'est alors qu'intervient, de la manière la plus avantageuse, et dans les conditions les plus favorables, le procédé d'utilisation des mesures d'angles zénithaux ; voici comment on opérera :

Parmi les visées qui peuvent être considérées comme sensiblement comprises dans un même plan vertical avec la station, on en choisit deux, présentant entre elles la plus grande différence d'angle zénithal et aboutissant à deux signaux S et S' situés, soit de part et d'autre (fig. 10), soit d'un même côté (fig. 11) de la verticale de la station.

La formule qui donne, dans ce cas, le déplacement OO' est :

$$dK = \frac{dH}{\text{tang } i \pm \text{tang } i'}$$

Le signe + se rapporte au cas de la figure 10, et le signe — à celui de la figure 11 ; mais il faut avoir soin, *en outre*, de faire tang *i* positif ou néga-

tif suivant que l'angle i est au-dessus ou au-dessous de l'horizon ; dH s'obtient en retranchant *algébriquement* l'altitude obtenue par S′ de celle obtenue par S. Il résulte de ces conventions que dK devra être ajouté à la distance mesurée entre la position provisoire et le signal S ou en être retranché, suivant que cette quantité sera positive ou négative.

Ces conventions de signes, sans être bien compliquées, manquent cependant du caractère de simplicité qui devrait distinguer toutes les opérations faites sur le terrain. On trouvera sans doute avantage à y substituer les diagrammes et les formules ci-dessous, dans lesquelles les quantités sont prises *en valeur absolue*, i désignant l'inclinaison la plus forte et i' la plus faible.

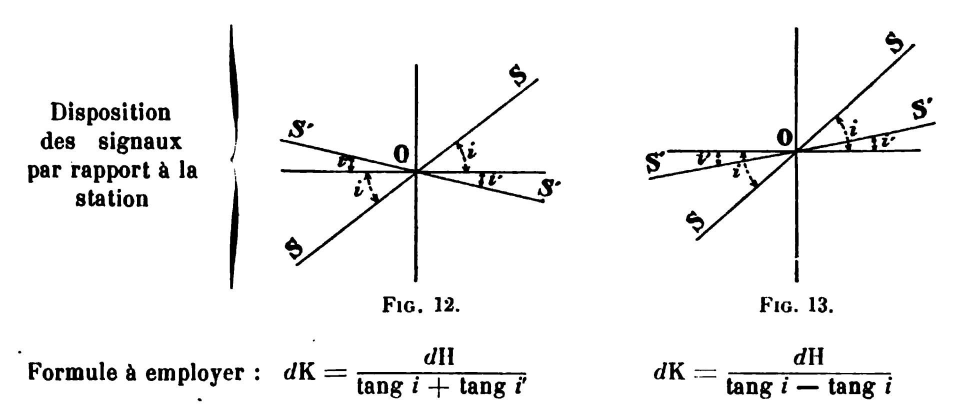


Fig. 12. Fig. 13.

Formule à employer : $dK = \dfrac{dH}{\text{tang}\, i + \text{tang}\, i'}$ $\qquad dK = \dfrac{dH}{\text{tang}\, i - \text{tang}\, i}$

On se rendra facilement compte, avec un peu de réflexion, du sens dans lequel doit se faire le déplacement dK. On peut encore utiliser la remarque suivante :

On doit déplacer la position provisoire en l'éloignant ou en la rapprochant du signal S, suivant que, des deux altitudes calculées, celle obtenue par S est la plus rapprochée ou la plus éloignée de l'altitude de ce signal.

Cette règle s'applique au cas, précédemment examiné, où l'altitude de la station est supposée connue. Il sera bon de copier cette règle dans le carnet d'observations, avec les deux figures et formules ci-dessus.

D'après ce qui a été démontré précédemment, le procédé sera avantageux dans toutes les circonstances où $i + i'$ (ou $i - i'$, suivant le cas) dépassera 10 ou 15 grades.

Application à un exemple. — Les exemples d'application des considérations précédentes abondent dans nos carnets de levés à la planchette ;

en voici un pris au hasard, extrait du carnet n° 7, page 37, région de Vallorcine :

25 juillet 1903. — Station : Cascade de Bérard. — Roche polie sur la rive droite du torrent. dT = + 1m,10.

Désignation des points visés.	Lectures éclimètre (1)	Distances horizontales (2)	Altitudes des points visés	Altitude calculée de la station
La Poyaz, hôtel du Buet, base du toit.	89,92	580	1342,9	1434,4
Croix des Posettes, sommet du signal.	21,52	2120	2184,1	1437,4

Parmi les signaux visés, les deux mentionnés ci-dessus sont sensiblement dans la même direction et sont situés d'un même côté de la station, mais l'un au-dessus et l'autre au-dessous de l'horizon de cette station ; par conséquent, on est dans le cas de la figure 12, et la formule qu'il convient d'appliquer est :

$$dK = \frac{dH}{\text{tang } i + \text{tang } i'}$$

En prenant, comme nous l'avons dit, les quantités en valeur absolue, et la différence des altitudes provisoires calculées étant de 3 mètres, on a :

$$dK = \frac{3,0}{0,16 + 0,35} = 6$$

Il faut donc déplacer de 6 mètres le point provisoirement admis pour la station. Dans quel sens ? L'altitude 1437,4 obtenue par S (Croix des Posettes) étant *la plus rapprochée* de l'altitude de S, il faut *éloigner* de ce signal, d'une quantité de 6 mètres, le point provisoire.

Les distances deviennent alors 586 et 2126. Un nouveau calcul de l'altitude fait au moyen de ces distances corrigées donne bien le même nombre 1435, 4.

IV. — CONSTRUCTION DES RELÈVEMENTS GONIOMÉTRIQUES

Les relèvements goniométriques, dans les levés de la carte du Mont Blanc, sont employés, soit à déterminer concurremment avec la planchette des

(1) Règle à éclimètre ; lectures corrigées de l'erreur de collimation.

(2) Ici, ce sont les distances, mesurées à l'échelle sur la planchette, depuis la position provisoire du point de station jusqu'aux signaux visés.

stations complémentaires devant servir à appuyer les levés de détail, soit à fixer la position des stations photographiques.

Il n'est peut-être pas inutile de donner ici quelques indications sur les avantages et inconvénients comparés du théodolite et de la planchette pour la détermination de ces points de repère complémentaires (celle des stations photographiques est, cela va sans dire, goniométrique, eu égard à la nature de l'instrument employé (1) et parce que la rédaction des levés est essentiellement une opération de bureau).

Au point de vue du temps nécessaire sur le terrain, le double tour d'horizon au théodolite n'en demande pas plus que le relèvement à la planchette avec l'alidade holométrique ; ce dernier a l'avantage de fournir immédiatement la position de la station, qu'il ne reste plus qu'à reporter sur la planchette de détail, et permet, par conséquent, l'utilisation des points de repère aussitôt qu'ils sont déterminés ; il semblerait qu'il y a là une supériorité décisive en faveur du procédé graphique ; cependant, l'organisation du travail peut être conçue de telle façon que la préparation des points de repère d'une région précède de plusieurs semaines, par exemple, les levés de détail ; alors il y a toutes chances pour que, dans l'intervalle, survienne une de ces périodes de mauvais temps si fréquentes dans les Alpes pendant lesquelles l'opérateur aura tout le loisir d'exécuter les calculs nécessités par les relèvements goniométriques (2). Ceux-ci, en compensation de la nécessité d'intervention du calcul, présentent plusieurs avantages appréciables, surtout dans les cas difficiles : possibilité d'utiliser des signaux éloignés dont les projections seraient situées en dehors de la planchette, d'obtenir des résultats acceptables même avec une disposition médiocre des signaux par rapport à la station ; sécurité plus grande dans la position obtenue, dans le cas assez fréquent où les constructions graphiques laissent planer sur cette position une certaine indécision. Notre triangulation étant très serrée (un point trigonométrique pour 1,5 km² comme nous l'avons

(1) Voir le t. II des *Annales*, p. 213 : *Application de la photographie aux levés de détail de la carte du massif du Mont Blanc.*

(2) Il suffit d'être muni des tableaux d'éléments des triangles et de positions des points trigonométriques, ainsi que d'une table de logarithmes. Il serait incommode, au gîte, de rapporter directement, par des opérations graphiques, les relèvements obtenus goniométriquement : ces opérations exigent un emplacement et un matériel que l'on ne peut guère trouver qu'au bureau.

dit), il suffit d'un petit nombre de stations et de quelques points intersectés complémentaires pour atteindre la moyenne d'un point de repère par kilomètre carré, nécessaire pour appuyer les levés au 20.000^{e} (1) ; il est donc admissible que ces points complémentaires puissent être déterminés au théodolite et par le calcul. Il en serait évidemment tout autrement si, comme cela a lieu pour les levés des plans directeurs du Génie militaire, on ne disposait que d'un point trigonométrique pour une vingtaine de kilomètres carrés, ce qui est le cas de l'ancien réseau géodésique français ; alors l'emploi de la triangulation graphique procure une très notable économie de temps et de travail.

En ce qui concerne les *stations photographiques*, pour la détermination desquelles, en raison même de la nature des opérations de restitution, on a tout le loisir nécessaire, on a le choix entre deux procédés : les constructions graphiques ou le calcul d'après les angles observés sur le terrain. Le procédé du papier calque ne nous a pas paru susceptible de donner la précision nécessaire ; il peut être cependant employé à titre de première approximation et pour faire découvrir les fautes de lecture ou d'identification des signaux. Nous ne parlons que pour mémoire des constructions fondées sur l'application pure et simple de théorèmes de géométrie : elles sont pratiquement inapplicables dans notre cas.

Le meilleur procédé graphique, en usage au service hydrographique de la marine (2), est celui recommandé par M. Bouquet de la Grye et désigné par lui sous le nom de *procédé des tangentes* ; il consiste à tracer, au moyen d'un rapporteur de précision à alidades, et dans le voisinage du point de station dont la situation est approximativement connue (par exemple par le procédé du papier calque), un petit arc de chacun des segments capables des angles mesurés (3).

(1) Colonel Goulier, ouvrage déjà cité, note C, § 3, p. 492.

(2) A. Germain, *Traité d'hydrographie*, chap. VIII, § 136.

(3) Il convient de rappeler que ce principe de la détermination préalable d'une position approchée du point de station dans les environs de laquelle on trace des droites représentant les lieux géométriques de relèvement, est celui que l'on retrouve sous le nom de : *procédé des droites de hauteur* dans les applications de l'astronomie à la navigation (consulter notamment : E. de Larminat, *Topographie pratique*, p. 304, Ch.-Lavauzelle, éditeur, 1904) ; c'est aussi celui qui a été si ingénieusement appliqué par M. P. Hatt dans ses procédés de compensation graphique (voir notre *Note sur la compensation graphique*, dans le tome Ier des *Annales*, et l'ouvrage de M. Hatt : *Des Coordonnées rectangulaires et de leur emploi dans les calculs de triangulation*. Imprimerie nationale, 1893).

Nous avons essayé de construire, d'après ce procédé, un certain nombre de stations photographiques, au moyen du grand rapporteur Hurlimann, du modèle du Service hydrographique ; cet appareil a le défaut d'être lourd et encombrant ; il donne de bons résultats, mais qui, cependant, ne sont pas à l'abri de tout reproche ; les erreurs instrumentales ne sont pas négligeables ; la définition du centre par l'intersection des deux arêtes d'une règle ne nous paraît pas très heureuse ; aussi la position de certains points, qui, au point de vue graphique, semblait correcte, a dû être rectifiée par le calcul, après que la vérification par les visées zénithales très inclinées eut démontré la nécessité de cette rectification. Nous croyons, cependant, qu'une modification convenable de l'instrument permettrait d'éliminer ces défauts (1).

« On a proposé d'employer des instruments donnant immédiatement la position de la station par rapport aux trois signaux visés ; ce sont toujours des rapporteurs à trois alidades que l'on fait passer par les trois signaux et dont le centre donne immédiatement la station cherchée. Ces instruments, en usage en Angleterre et en Amérique, n'ont pas été, jusqu'à présent, adoptés par les hydrographes français, parce qu'ils ne permettent pas de se rendre compte de l'erreur commise en se servant de tel ou tel signal (2). »

Nous formulons la même conclusion que l'auteur ; notre but est, en effet, non d'obtenir la solution unique fournie par trois signaux, mais les lieux géométriques auxquels donne lieu l'emploi de signaux en nombre au moins égal à quatre (3).

(1) Nous avons fait construire récemment par Thomas un rapporteur à alidades d'un modèle notablement différent de celui du Service hydrographique ; il est beaucoup moins volumineux et plus léger, bien que la longueur des règles, depuis le centre, soit la même. Le centre est occupé par une plaque percée d'un petit trou permettant de centrer très exactement le rapporteur sur le sommet donné d'un angle, ou de figurer cê sommet par un petit cercle tracé au crayon. Le limbe, entier, finement divisé sur argent ainsi que le vernier, n'a que 64 millimètres de diamètre. Cette disposition dégage presque complètement les alidades. Les lectures se font au moyen d'une loupe montée sur la règle mobile.

(2) A. Germain, *Traité d'hydrographie*, chap. VIII, § 136.

(3) Nous avons vu, entre les mains de M. By, un rapporteur à trois alidades ingénieusement combiné par lui et très soigneusement exécuté par la *Société Genevoise pour la construction d'instruments de physique et de mécanique;* nous n'avons pu l'adopter, pour les motifs indiqués ici.



Disons encore que souvent, lorsqu'on construit graphiquement des relèvements goniométriques, on est amené à faire usage de signaux dont la projection tombe en dehors des limites de la feuille ; alors le procédé est en défaut, ou bien il faut abandonner le signal en question, ce qui peut quelquefois compromettre l'exactitude de la solution ou même la rendre impossible.

L'emploi du calcul est encore nécessaire lorsque, par suite de la disposition des signaux, les segments capables se coupent sous des angles trop aigus pour que le point de station puisse être obtenu avec une précision suffisante par une construction graphique.

En définitive, nous avons adopté le procédé par calcul pour déterminer la position de toutes les stations photographiques ; il est sensiblement plus long, mais il est d'une sécurité absolue. On en trouvera l'exposé complet dans nos *Instructions* géodésiques (1).

L'emploi des logarithmes à 4 décimales suffit pour donner la position de la station à un mètre près environ. Le point est défini par le calcul et fixé graphiquement au moyen de ses distances aux signaux de relèvement, qui sont toujours au nombre de 4, 5 ou 6.

L'altitude de la station résultant de la position ainsi calculée présente une complète garantie.

(1) *Instructions pratiques pour l'exécution des triangulations complémentaires en haute montagne*, par Henri Vallot, pp. 90 et 95. G. Steinheil, Paris, 1904.



ÉTAT D'AVANCEMENT DES OPÉRATIONS

DE LA

CARTE DU MASSIF DU MONT BLANC

A l'échelle du 20.000e

Par **M. Henri VALLOT**.

I. — AVANT-PROPOS

Le troisième volume des *Annales*, paru en 1898, a rendu compte de l'état des opérations jusqu'à cette date ; le volume actuel, qui, pour des motifs expliqués d'autre part, paraît après une longue interruption, doit tenir nos lecteurs au courant des travaux exécutés depuis lors.

Les opérations dont nous nous sommes personnellement chargé, c'est-à-dire le canevas de détail et les levés à la planchette, ont progressé d'une façon régulière et continue ; si celles relatives à la région glaciaire et aux levés photographiques ont subi depuis cette époque un ralentissement, puis, de 1901 à 1903, un arrêt complet, la cause doit en être attribuée à une circonstance majeure, à l'état de santé de notre collaborateur, condamné pour quelque temps à un repos forcé et obligé d'interrompre momentanément ses travaux sur le terrain. Mais les opérations photographiques, dont il s'était spécialement chargé, sont assez avancées et assez méthodiquement organisées pour qu'il ait pu songer à se faire remplacer dans ce travail délicat. Cette tâche a été acceptée et entreprise, dès 1903, et continuée en 1904 par deux jeunes ingénieurs de talent, fervents alpinistes, déjà familiarisés avec le Mont Blanc et l'Observatoire des Bosses, où ils ont

fait plusieurs séjours, en 1899 et 1900 (1), MM. Jean et Louis Lecarme ; nous avons donc la certitude que, grâce à cette collaboration nouvelle, nous pourrons achever en peu d'années une œuvre qui est déjà fort avancée, comme on pourra s'en rendre compte à la lecture de notre exposé.

Si notre travail n'a point encore pu revêtir sa forme cartographique définitive, celle de feuilles publiées, il ne faudrait pas croire que les nombreux calculs qu'a nécessités la triangulation et la quantité considérable de documents réunis en vue de la représentation du terrain n'aient pas déjà reçu plusieurs utilisations pratiques ; pour ne citer que les principales, nous rappellerons que :

Dès 1896, nous avons communiqué à M. Kurz, sur une épreuve de la carte Barbey-Imfeld-Kurz, quelques-unes des rectifications qui nous ont semblé les plus nécessaires, concernant les positions, les noms ou les cotes d'altitude d'un certain nombre de nos points trigonométriques ;

En 1898, l'Administration cadastrale, à l'occasion de l'exécution du cadastre du canton de Saint-Gervais, nous a demandé de lui communiquer les positions géographiques des points trigonométriques de la région glaciaire compris dans le périmètre de ce canton ;

En 1899, un extrait de la triangulation et des levés photographiques a servi à établir l'avant-projet complet, au 10.000^{e}, du chemin de fer des Houches au Mont Blanc (2) ;

En 1901, un extrait des levés de détail a été communiqué à la Société de l'éclairage électrique de Chamonix, pour dresser l'avant-projet de l'établissement de sa deuxième prise d'eau ;

En 1902, un rapport a été adressé, sur leur demande, aux maires des communes de Chamonix et des Houches, concernant la délimitation des communes entre elles, et avec la zone *non mappée* ; l'identification que nous avons faite des bornes de l'ancienne délimitation cadastrale de 1730 repose entièrement sur les résultats de notre triangulation (3) ;

(1) Voir la préface du tome IV des *Annales*.

(2) Cet avant-projet figurait à l'Exposition de 1900, où une haute récompense lui a été décernée.

(3) Nous comptons publier, dans un prochain volume des *Annales*, le résultat de nos recherches sur l'ancien cadastre de la Savoie, dans la région du Mont Blanc ; cette question présente un réel intérêt non seulement au point de vue historique, mais encore au point de vue administratif.



En 1902, nous avons communiqué à l'Administration des Eaux et Forêts, pour les études glaciologiques qu'elle poursuit dans la région de Tête-Rousse, les positions géographiques de tous nos points trigonométriques dans cette région ;

En 1903, nous avons composé et dessiné, pour le Club alpin français, les tables d'orientation du Brévent et du Montanvert, sur lesquelles figurent 160 altitudes nouvelles extraites de notre réseau géodésique ;

En 1904, communication a été faite à l'Administration des Ponts et Chaussées, en vue de l'étude d'un projet de tunnel sous le massif du Mont Blanc, d'un extrait de nos levés de détail aux environs de Chamonix, et des résultats de la jonction de notre triangulation avec le réseau géodésique italien (1), qui permettent de déterminer avec précision la longueur du tunnel projeté ;

En 1905, nos levés topographiques déjà exécutés nous ont permis de procurer à l'État-Major du 14e corps d'armée des documents rectificatifs pour l'établissement des minutes de ses levés d'itinéraires au 50.000e.

La prochaine édition complétée de la carte Barbey-Imfeld-Kurz profitera d'un certain nombre d'altitudes et de dénominations tirées de nos cahiers de calculs.

Plusieurs éditions du Guide Joanne de la Savoie ont déjà utilise des renseignements numériques que nous avons mis à la disposition de ses rédacteurs, en ce qui concerne le massif du Mont Blanc.

Ajoutons enfin que, en attendant la publication, soit de notre *Recueil des positions géographiques* (2), soit des feuilles de la carte, nous tenons à la disposition des Administrations ou des particuliers qui nous en feront la demande, les résultats qui peuvent les intéresser.

II. — RÉSEAU TRIGONOMÉTRIQUE

Points trigonométriques. — En se reportant au tableau publié dans le tome III, on verra que la triangulation générale, dont l'établissement

(1) Nous avons inséré, dans le tome III, p. 107, une note sur ce sujet.

(2) Il y a longtemps que cette publication serait faite si elle n'était retardée par l'exécution des 400 clichés qui doivent accompagner les points trigonométriques pour préciser leur désignation.



nous incombait, pouvait être considérée comme à peu près terminée en 1897; elle comprenait alors 257 points; la triangulation intraglaciaire, dont s'était chargé notre collaborateur, comprenait 65 points fixés et 16 plus ou moins incomplets ; pour les raisons exposées ci-dessus, cette partie du travail n'a pas progressé sur le terrain depuis lors; nous avons dû, pour y suppléer dans la mesure du possible, déterminer chaque année, par intersection, un certain nombre de points situés dans la zone intraglaciaire et présentant un intérêt géographique, afin de ne point laisser de lacune importante dans les hautes régions du massif.

En outre, comme on le verra plus loin, certains relèvements de triangulation graphique ont été remplacés par des relèvements goniométriques. Il en est résulté un accroissement de notre réseau, qui comprend aujourd'hui 410 points trigonométriques : la surface intéressée étant de 350 kilomètres carrés, chaque point correspond à 1,3 km² en moyenne; 120 de ces points sont situés à une altitude supérieure à 3.000 mètres. D'autre part, 334 ont été déterminés par nous, et 76 par notre collaborateur, ces derniers surtout dans les régions les moins accessibles du massif.

L'incertitude dans la position des points trigonométriques est de quelques décimètres pour les points primaires, de moins d'un mètre pour les points secondaires, qui tous sont bien définis, et d'un petit nombre de mètres pour les cimes n'offrant qu'un pointé plus ou moins incertain.

Nivellement trigonométrique. — Ce nivellement prend son point de départ, aux environs de Chamonix, sur les repères du nouveau nivellement général de la France dont une ligne parcourt la vallée de l'Arve ; les vérifications faites par comparaison sur les points de repère situés dans cette vallée nous ont montré que les erreurs de nos altitudes calculées ne sont guère supérieures à un demi-mètre. Il est possible, cependant, que, comme cela arrive dans toute opération de cheminement, des erreurs systématiques viennent s'ajouter aux erreurs accidentelles ; il serait intéressant, à ce point de vue, d'avoir une fermeture à l'extrémité sud du réseau, sur le versant de l'Isère ; mais cette vérification n'est pas actuellement possible, aucune ligne de nivellement de précision ne pénétrant encore dans cette région. A défaut, nous mentionnerons les résultats suivants :

La Tête Nord du Fours, un de nos signaux primaires, est, d'après nos



opérations, à l'altitude : 2756,2 (sol du signal) ; ce même point figure comme point de premier ordre dans la Géodésie italienne, avec l'altitude (sol) : 2757,2. A cette discordance, devrait être ajoutée ou retranchée, bien entendu, celle provenant de l'erreur propre au nivellement géodésique italien, ainsi que la discordance des zéros fondamentaux des deux pays. Pour le sommet de l'Aiguille du Géant, nous trouvons 4013,3 ; les éléments italiens donnent : 4013,6.

On peut admettre, croyons-nous, que l'erreur absolue de l'altitude de nos points trigonométriques bien définis ne dépasse pas un mètre : l'erreur relative, la seule qui importe pour la précision des levés de détail, est notablement moindre. Quant aux sommets médiocrement définis, ils peuvent comporter une incertitude de 2 mètres environ.

Les cols les plus importants sont stationnés ou signalés comme points trigonométriques, ce qui permet d'obtenir non seulement leur position, mais encore leur altitude exacte. La même remarque s'applique aux hôtels, hôtelleries, chalets-buvettes, refuges ou cabanes, au nombre de près de cinquante, répartis dans tous les coins et à toutes les altitudes du massif.

III. — OPÉRATIONS DE DÉTAIL

Les opérations de détail comprennent : 1° les levés directs sur le terrain ; 2° les opérations photographiques, qui feront l'objet du paragraphe IV. Les levés directs sont limités aux régions pour lesquelles l'emploi du procédé photographique ne paraît pas avantageux, régions qui seront définies plus loin. Ces levés sont exécutés à la planchette et appuyés sur les points trigonométriques, et aussi sur des points complémentaires déterminés par triangulation graphique ou même goniométrique. Ces levés sont complétés pour certains détails par l'emploi de la planchette à main déclinée.

Points complémentaires de triangulation. — Nous avons exposé, dans le tome III (p. 135), que ces points, destinés à étendre le canevas trigonométrique, sont obtenus par triangulation graphique au moyen d'une grande planchette de 0,45 × 0,55 et de l'alidade holométrique Goulier. Le procédé exclusivement employé pour la détermination des stations est

le *relèvement* ; un petit nombre de points remarquables sont ensuite déterminés par intersection. Quelques particularités dans le mode d'emploi de ce procédé, particularités que nous ont suggérées la nature spéciale de notre travail et la configuration du pays, sont exposées dans une note publiée dans le présent volume. On y verra également comment nous avons été amené à substituer souvent les relèvements goniométriques à ceux graphiques, c'est-à-dire le théodolite (1) à l'alidade holométrique et à la planchette. Cette substitution, qui serait peut-être critiquable dans le cas général, est admissible dans notre cas, où le réseau trigonométrique est très serré, et où quelques points complémentaires suffisent pour amener ce réseau à la densité voulue pour appuyer directement les levés de détail à la planchette.

Levés de détail à la planchette déclinée. — Ils s'exécutent, comme nous l'avons précédemment expliqué (tome III, p. 136), au moyen de la planchette $0,40 \times 0,50$, montée sur le même pied à calotte sphérique qui sert pour toutes nos opérations, et au moyen de la règle à éclimètre Goulier ; c'est l'instrument par excellence des levés de détail, si ingénieusement combiné par son auteur que, bien qu'étudié surtout en vue des levés au 5.000e et au 10.000e en pays moyen, il se trouve merveilleusement adapté à nos levés au 20.000e dans la haute montagne, où les distances des objets varient depuis quelques mètres jusqu'à plusieurs kilomètres, et où les inclinaisons des visées atteignent jusqu'à 40 grades.

Pour le placement des stations de détail, nous employons, suivant le cas, l'un ou l'autre des deux procédés : *cheminement* (2) et *relèvement*.

(1) C'est le tachéomètre Goulier qui, dans nos opérations secondaires, joue le rôle de théodolite ; mais nous avons été amené, pour remédier à des flexions nettement constatées, à modifier le montage de la lunette par l'addition d'un deuxième montant.

(2) Dans les procédés du Génie militaire, la planchette n'est guère utilisée pour les cheminements, qui se font de préférence à la boussole ou au tachéomètre décliné.

« Dans la pratique, dit le colonel Crouzet (*Éléments de la topographie,* 3e édition, p. 105), la planchette est tout à fait impropre au cheminement, à cause de la complication de sa mise en station, qui exige beaucoup de précautions, même avec le genou à calotte sphérique. »

Cette conclusion nous paraît trop absolue ; elle est peut-être justifiée dans les levés à grande échelle (du 1.000 ou au 50.00e) ; mais nous pouvons affirmer que dans notre cas (le 20.000e) l'application de la planchette au cheminement se fait dans des conditions suffisamment pratiques. La mise en station est rapide et n'exige aucune précaution

Les cheminements principaux sont exécutés sur les routes ou chemins qui suivent les fonds de vallée : ils sont bridés sur les points trigonométriques, dont la distance excède rarement 3 kilomètres. La planchette est orientée au déclinatoire ; nous procédons toujours par visées directe et inverse, ce qui, tout en réduisant les erreurs, donne une garantie complète contre les fautes. Les portées sont celles que permet la visibilité ; toutefois, nous cherchons à ne pas dépasser 150 mètres, avec un seul aide et un jalon-mire de 2 mètres.

Des bouts de cheminements sont souvent poussés, en dehors des chemins, dans les parties de terrain de parcours facile ; là, on peut être moins exigeant pour la précision et, si c'est avantageux pour la rapidité, employer le procédé qui consiste à « sauter une station sur deux » ; il est favorable à l'élimination des petites erreurs ; mais une grosse faute peut passer inaperçue ; il n'y a de contrôle que par la fermeture sur un point connu, aussi celle-ci ne doit *jamais* être négligée.

Dans les régions de parcours difficile, ou dans lesquelles des stations très rapprochées ne sont pas nécessaires pour saisir tous les détails du terrain, nous employons le placement des stations par *relèvement*.

La planchette est orientée au déclinatoire, et la position est relevée sur les signaux voisins, qui, grâce à la triangulation complémentaire, ne sont jamais bien éloignés. Toutefois, depuis que nous employons systématiquement la rectification de la position graphique du point par l'utilisation des angles zénithaux (1), le rayon d'action de la règle à éclimètre se trouve notablement accru ; nous n'hésitons pas à pratiquer, à l'occasion, le relèvement sans déclinatoire, sur des signaux situés à plusieurs kilomètres, et c'est là un des motifs de notre tendance déjà signalée à restreindre ou même à supprimer l'emploi de l'alidade holométrique, qui se trouve ainsi remplacée, partie par le théodolite, partie par la règle à éclimètre.

minutieuse, étant donné qu'un écart, fortuit, de quelques décimètres entre le point de station et sa projection sur la planchette est sans importance à l'échelle du levé et n'altère pas l'orientation générale du cheminement, qui est obtenue au déclinatoire. Le calage et l'orientation de la planchette se font assez rapidement avec le secours de la calotte sphérique ; la précision est très suffisante, étant donné que la longueur graphique des côtés ne dépasse jamais 1 centimètre, et celle du cheminement 15 centimètres entre deux points de position connue.

(1) Voir, dans le présent volume, la note précitée, p. 187.

Les points de détail nécessaires, soit pour l'établissement de la planimétrie, soit pour le figuré du terrain par courbes horizontales, sont obtenus le plus fréquemment par *rayonnement* au jalon-mire, avec un seul aide, dans un rayon de 150 mètres, et sans dépasser 30 mètres de dénivellation autour de la station ; l'*intersection* est aussi employée, mais plus rarement, car on n'y a recours que là où l'accès est difficile, et où, par conséquent, le procédé photographique reprend son avantage.

Comme nous l'avons dit déjà, tous les chemins muletiers et les sentiers importants, de même que la planimétrie des villages, sont levés à la *planchette à main déclinée* (1) et au pas compté. Ces fragments de levés, exécutés au 10.000e, sont ensuite réduits et rectifiés d'après les points de repère graphiques ou trigonométriques sur lesquels ils sont bridés, avant d'être reportés sur la planchette ou sur le dessin-minute.

Nous faisons usage du *clisimètre à collimateur* Goulier pour relever rapidement les inclinaisons du terrain suivant la ligne de plus grande pente, ce qui facilite le tracé des horizontales, dans les parties très déclives. Le clisimètre est également fort utile pour fournir les pentes locales des chemins que l'on parcourt, et par suite le passage des horizontales sur ces chemins, entre des points à cotes connues.

La petite carte ci-jointe représente, par des surfaces hachurées de diverses manières, les zones levées et leurs différents états d'avancement. Les levés à la planchette, régulièrement poursuivis depuis 1897, sauf les interruptions nécessitées par les opérations de triangulation complémentaires, comprennent actuellement tous les fragments utiles, entre le fond des vallées et l'altitude limite de 2.500 mètres, se rattachant aux vallées de Vallorcine, de Bérard, de l'Arve depuis le Col de Balme jusqu'au delà des Houches,

(1) Telle est la forme et le nom que nous avons donnés au *carton-planchette*, pour notre usage particulier. Cette planchette a 0,20 m. sur 0,25m., dimensions qui permettent de la loger dans une sacoche forme gibecière ; elle est découpée dans du *panneau* de 5 à 6 millimètres d'épaisseur en trois couches à bois croisé.

Le papier est solidement maintenu aux quatre angles par trois petits boulons et par la *boussole-écrou*. En dessous, se trouve une gaine pouvant contenir les crayons de couleur.

Ce modèle est établi par Thomas (175, rue Saint-Honoré), et il a été souvent reproduit depuis quelques années. On peut y suspendre par un fil l'*échelle de pas multiple*, décrite dans notre *Manuel de topographie alpine*, et dont nous nous servons exclusivement dans nos levés au pas ; cette échelle de pas se trouve également chez Thomas.



de Bionnassay et de Saint-Gervais jusqu'au Fayet. Il nous reste encore à lever les fragments dépendant de la vallée de la Diosaz, de la partie inférieure du cours de l'Arve, et de la vallée du Bonnant en amont de Bionnay.

Nous avons déjà dit, en insistant sur ce point, que dans une organisation bien comprise les levés photographiques devraient précéder ceux à la planchette d'une campagne au moins, afin que l'on puisse, dans l'intervalle, se rendre compte des lacunes que laisse la photographie, et qui devront être ultérieurement comblées par un levé direct sur le terrain. Malheureusement, cette condition n'a jamais pu être réalisée dans notre cas, et il en résulte dans l'organisation de nos levés une gêne sérieuse qu'il conviendrait d'éviter dans une entreprise nouvelle.

IV. — OPÉRATIONS PHOTOGRAPHIQUES

Appareil photographique et clichés. — Dans un article publié dans le tome II des *Annales* (1), nous avons décrit le *phototachéomètre* et son emploi sur le terrain. Nous pouvons ajouter que depuis 1894, époque de sa mise en service, cet appareil a donné les meilleurs résultats, et l'expérience n'a suggéré aucune modification à l'instrument tel qu'il a été décrit. Deux appareils identiques ont été commandés chez le même constructeur, en mars 1901, par le Service géographique de l'Armée pour la mission française de l'Équateur, chargée de la mesure de l'arc de méridien de Quito. Nous avons appris par deux officiers de la mission, le capitaine Perrier et le médecin-major Rivet, que, sauf les hésitations du début tenant aux initiations nécessaires, ces instruments fonctionnent bien, malgré le but très différent auquel ils sont destinés : un levé de remplissage au 100.000° de la région interandine.

Mais, bien que nous ayons cherché à rendre l'emploi de l'appareil aussi sûr et aussi automatique que possible, il n'en reste pas moins, comme dans tout appareil photographique, une part d'inconnu et par suite une possibilité d'insuccès dans *l'application du temps de pose* nécessaire ; aussi croyons-nous utile de rappeler ici les moyens qu'emploie notre collabora-

(1) T. II, p. 213 ; *Applications de la photographie aux levés de détail de la carte du massif du Mont Blanc.*

teur pour déterminer cet élément, en ajoutant que les résultats de leur application sur le terrain, légèrement corrigés, lorsque c'est nécessaire, par quelques artifices de développement, ont toujours fourni des clichés présentant le maximum des qualités qu'on pouvait en exiger, étant donné les circonstances et le sujet photographié. On peut donc affirmer qu'en prenant les précautions voulues, tout opérateur soigneux et avisé devra obtenir avec certitude des résultats aussi satisfaisants.

Les lois physiques de la lumière conduisent à considérer le temps de pose comme proportionnel au carré de la distance focale f de l'objectif, et inversement proportionnel à l'aire de l'ouverture du diaphragme, ou au carré du diamètre d de cette ouverture. Si l'on pose :

$$\frac{f}{d} = n$$

n étant seulement fonction des dimensions de l'appareil, le temps de pose sera proportionnel à n^2 ; représentons conventionnellement par $\frac{c}{1000}$ ce coefficient de proportionnalité ; on aura :

$$\text{Temps de pose} = \frac{n^2}{1000} \times c$$

c peut être défini comme un *coefficient d'actinisme*; mais, en réalité, eu égard à l'homogénéité nécessaire de la formule, c est le temps de pose convenant à un appareil dans lequel on aurait $n = \frac{f}{d} = 31{,}6$ (rapport, d'ailleurs, fréquemment réalisé dans la pratique).

Dans notre appareil, dans lequel on a $f = 151$ *mm*, le diaphragme n° 5, d'ouverture $d = 3{,}8$ *mm*, donne $n = 40$; mais, dès la première campagne, notre collaborateur a reconnu l'avantage d'employer le plus petit diaphragme, n° 6, pour lequel $d = 2{,}7$ *mm*, ce qui donne $n^2 = 3000$ environ, d'où :

$$\text{Temps de pose} = 3{,}0\ c$$

Voici les coefficients c donnés par M. Joseph Vallot dans sa brochure : *la Photographie des montagnes à l'usage des alpinistes* (1), d'où sont tirés

(1) Chez Gauthier Villars, 1899. — Voir aussi, dans le *Manuel d'alpinisme* (Laveur, 1904), l'article : *Guide de l'alpiniste photographe*, par J. Vallot, p. 213.



les renseignements qui précèdent; ces coefficients s'appliquent aux montagnes du centre de l'Europe, en juillet et août, entre 9 heures du matin et 4 heures du soir, *avec un écran jaune de 15 fois.*

Nature du sujet	Coefficients c	Temps de pose pour le phototachéomètre
Glaciers et panoramas	3 secondes	10 secondes
Masses de verdures dans les hauteurs. . .	6 secondes	20 secondes
Masses de verdures dans la vallée.	18 secondes	60 secondes

En juin et septembre, ou dans des circonstances atmosphériques moins favorables, on peut être amené à doubler ou tripler les temps de pose indiqués.

Il est bien entendu qu'on ne doit pas attribuer à ces chiffres un caractère absolu; rien n'est variable et difficile à apprécier comme l'actinisme atmosphérique ; mais hâtons-nous d'ajouter qu'on peut corriger par le développement ces variations, lorsqu'elles ont eu pour effet un excès de pose; les chiffres indiqués doivent donc être considérés plutôt comme des minimums. *Un manque de pose, au contraire, ne saurait être réparé* (1).

Tours d'horizon photographiques. — Les stations photographiques, lorsqu'elles ne sont pas établies sur des points trigonométriques, sont relevées goniométriquement sur les signaux environnants. Les tours d'horizon ou panoramas photographiques sont complets lorsque la station est sur un sommet, ou incomplets lorsqu'elle est sur un versant. Deux clichés superposés sont souvent nécessaires pour obtenir les grands plongements, vers le haut ou vers le bas. Les vues sont quelquefois prises en double sous des éclairages différents, ou bien avec des poses différentes, convenant, l'une aux parties claires, l'autre aux parties sombres. L'opérateur combine l'ordre de ses stations de façon à opérer autant que possible sur des parties éclairées par le soleil; pour les tours d'horizon complets, il est presque indispensable d'en faire une moitié le matin et l'autre le soir. Lorsque ces précautions, ainsi que les temps de pose, sont rigoureusement

(1) Nous ne croyons pas devoir, dans ce succinct compte-rendu, insister davantage sur ce sujet ; nous nous proposons d'ailleurs de publier prochainement, avec la collaboration de M. Joseph Vallot, un travail d'ensemble sur l'application de la photo-topographie en haute montagne.

observés, on peut être certain de rapporter de bons résultats ; dans le cas contraire, ou lorsque les conditions atmosphériques sont défavorables, on est exposé à retourner sur les stations pour refaire les clichés.

Le tableau suivant indique le nombre de clichés exécutés chaque année avec leur répartition, d'après le nombre des jours de travail et celui des stations. Le nombre total des clichés utiles est actuellement de 1.727.

ANNÉES	NOMBRE de CLICHÉS	NOMBRE de JOURS effectifs de TRAVAIL	NOMBRE de STATIONS	NOMBRE de CLICHÉS par JOUR de TRAVAIL	NOMBRE de CLICHÉS par STATION	OPÉRATEURS	REMARQUES
1894	390	27	51	14,4	7,6	J. Vallot	Déduction faite des clichés n'ayant pas un but topographique.
1895	454	30	42	15,1	10,8	Id.	
1896	69	4	10	17,3	6,9	Id.	
1897	276	15	34	18,4	8,1	Id.	
1898	82	4	8	20,5	10,3	Id.	
1899	170	9	22	18,9	7,7	Id.	
1900	21	2	4	10,5	5,3	Id.	
1901	0	0	»	»	»	»	Interruption.
1902	0	0	»	»	»	»	
1903	88	8	14	10,4	5,9	J. et L. Lecarme	Déduction faite de quelques stations manquées.
1904	182	13	27	14,0	6,7	J. Lecarme	
Totaux et moyennes	1727	112	212	15,5	8,2		

Il est assez difficile, on le comprend, d'assigner des limites définies aux zones sur lesquelles s'étendent les levés photographiques ; nous avons cependant représenté ces zones approximativement sur la carte jointe à cet article.

Opérations de laboratoire. — Notre collaborateur continue, comme par le passé, à exécuter lui-même toutes les opérations de laboratoire qui exigent, comme nous l'avons fait pressentir en parlant du temps de pose, une certaine expérience du terrain aussi bien que du savoir-faire professionnel. Lorsque toutes les précautions recommandées ont été prises par l'opérateur sur le terrain, le développement normal des clichés suffit, sans qu'il soit nécessaire de recourir au renforcement.

Dans le tirage des positifs, on remédie assez bien à la difficulté d'obtenir, sur un même cliché, des sujets de nature très différente au point de vue

actinique, par exemple des glaciers et des bois, en tirant sur le même cliché deux et même trois positifs, plus ou moins clairs ou foncés.

V. — RÉDACTION DES LEVÉS

Levés directs sur le terrain. — La rédaction des levés à la planchette consiste simplement dans la mise au net, à l'encre, du dessin exécuté au crayon sur le terrain ; et dans l'exécution, sur le carnet, de certains calculs définitifs d'altimétrie, lorsque les calculs provisoires ont seuls été faits sur le terrain, notamment pour la compensation des cheminements ou la correction des stations de relèvement isolées. Le dessin du rocher ne figure pas sur les planchettes : il est exécuté d'après les épreuves photographiques.

La rédaction comprend encore l'ajustement et le report des cheminements levés à la planchette à main. On encadre le cheminement dans un polygone que l'on trace en réunissant par des lignes droites les points de repère sûrs qui se rencontrent sur le parcours. La comparaison des deux polygones analogues tracés, l'un sur la planchette à main, à une échelle voisine du 10.000ᵉ, l'autre sur la planchette de détail ou la minute, à l'échelle du 20.000ᵉ, indique quelle variation de longueur et d'orientation doit affecter chaque côté du polygone qui entraîne avec lui les détails voisins.

Restitutions photographiques. — Nous désignons par cette expression l'ensemble des opérations, graphiques ou de calculs, par lesquelles il faut passer pour résoudre le problème inverse de celui de la *mise en perspective*, c'est-à-dire pour obtenir, en projection horizontale cotée, la *restitution* du terrain représenté par les perspectives photographiques. Nous ne nous étendrons pas sur ce sujet, que nous comptons traiter, nous l'avons dit, dans un ouvrage spécial. Nous dirons seulement que l'organisation que nous avons adoptée pour atteindre ce but ne comprend que des opérations élémentaires, graphiques ou de calcul, très simples ; pour ces opérations, nous nous sommes surtout inspiré des procédés employés, il y a longtemps déjà, par le colonel Laussedat et le commandant Javary, en excluant toute prétention à la haute précision, et sans



avoir recours à aucun des instruments plus ou moins compliqués qui sont en usage à l'étranger.

La recherche de la trace du plan de la perspective est grandement facilitée par l'emploi d'une équerre double spéciale en carton que nous appelons *équerre-trace* ; les constructions planimétriques sont effectuées avec le secours des bandes de papier bien connues, et d'un usage très pratique. Jusqu'ici, les opérations altimétriques ont été exécutées, sur des feuilles de calculs, par la règle logarithmique ou les tables de logarithmes à 4 décimales.

Dans cette organisation, nous nous réservons tout ce qui concerne l'*interprétation*, géométrique ou topographique, des épreuves et la *mise au point* des résultats graphiques ; la partie matérielle des constructions et des calculs est confiée à un dessinateur, dont les résultats se trouvent constamment vérifiés par des procédés de contrôle appropriés.

La rédaction des levés photographiques est achevée sur le versant droit de la vallée de Chamonix, de Bel-Achat à l'Aiguille Pourrie, ainsi que dans la zone comprise entre le Mont Blanc et l'Aiguille du Goûter. Elle est très avancée sur le versant gauche de la vallée de Chamonix, entre le glacier des Bossons et le Montanvert, ainsi que sur les deux versants de la Mer de Glace jusqu'à l'Aiguille du Tacul.

Dessin des feuilles de la Carte. — Nous avons indiqué dans le tome III (p. 138) quel est le mode de division prévu pour la coupure de la carte, qui comprendra, pour le territoire français seulement, 22 feuilles de $0,25 \times 0,35$, plus ou moins complètement remplies. La feuille de Chamonix sera bientôt prête. Les documents sont presque complets pour les feuilles : le Tour, Argentière, Talèfre, les Houches, Grands Mulets, le Tacul, Mont Blanc. La rédaction et le dessin marchent assurément avec une lenteur que l'on peut regretter, mais qui est inévitable, étant donné que, dans l'état actuel, la totalité du travail doit passer par les mêmes mains.

TABLE DES MATIÈRES

Fréquence des inspirations.

17-12-04. — Tours, imp. E. Arrault et Cie.

